



SKRIPSI - ME-141501

**Penilaian Risiko Penggunaan *Dual Fuel System*
(LNG-Fuel Oil) Pada Kapal Tanker MT. Senipah
Milik PT. Pertamina (Persero) Perkapalan**

Atandho Gama Magwasyar
NRP 4212 100 140

Dosen Pembimbing
AAB. Dinariyana DP, ST, MES, Ph.D
Dr. I Made Ariana ST, MT

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL PROJECT - ME-141501

***Risk Assessment Using Dual Fuel System
(LNG-Fuel Oil) On MT.Senipah PT.
Pertamina (Persero) Perkapalan***

Atandho Gama Magwasyar
NRP 4212 100 140

Advisors
AAB. Dinariyana DP, ST, MES, Ph.D
Dr. I Made Ariana ST, MT

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

**PENILAIAN RISIKO PENGGUNAAN DUAL FUEL
SYSTEM (LNG-FUEL OIL) PADA KAPAL TANKER MT.
SENIPAH MILIK PT. PERTAMINA (PERSERO)
PERKAPALAN**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Marine Reliability And Safety Laboratory (RAMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Atandho Gama Magwasyar
Nrp. 4212 100 140

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. AAB Dinariyana DP, ST, MES, Ph.D
2. Dr. I Made Ariana, ST, M.T

Sinarjaya
.....
[Signature]
.....

SURABAYA
JULI, 2016

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PENILAIAN RISIKO PENGGUNAAN DUAL FUEL SYSTEM (LNG-FUEL OIL) PADA KAPAL TANKER MT. SENIPAH MILIK PT. PERTAMINA (PERSERO) PERKAPALAN

SKRIPSI

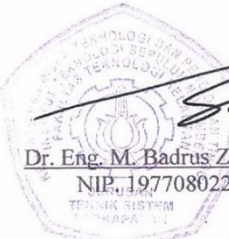
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Marine Reliability And Safety Laboratory (RAMS)
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Atandho Gama Magwasyar
Nrp. 4212 100 140

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

**PENILAIAN RISIKO PENGGUNAAN DUAL FUEL
SYSTEM (LNG-FUEL OIL) PADA KAPAL TANKER MT.
SENIPAH MILIK PT. PERTAMINA (PERSERO)
PERKAPALAN**

Nama Mahasiswa : Atandho Gama Magwasyar
NRP : 4212 100 140
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : AAB Dinariyana DP, ST, MES, Ph.D
Dr. I Made Ariana, ST, MT

Abstrak

Dual fuel sytem adalah salah satu metode untuk mengurangi emisi yang ada dikapal. Penggunaan *dual fuel system* di kapal memiliki risiko yang dapat membahayakan anak buah kapal (ABK). Sehingga penilaian risiko harus dilakukan agar *dual fuel system* aman digunakan dan tidak membahayakan anak buah kapal (ABK). Pada penelitian ini akan membahas risiko penggunaan *dual fuel system* pada kapal tanker MT. Senipah milik PT. Pertamina (Persero) Perkapalan. Untuk melakukan penilaian risiko yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi bahaya, melakukan analisis frekuensi dan konsekuensi, serta merepresentasikan risiko dalam bentuk *F-N Curve*. Metode yang digunakan untuk melakukan identifikasi bahaya menggunakan metode FMEA. Analisis frekuensi menggunakan metode ETA dan FTA. Sedangkan untuk Analisis konsekuensi menggunakan simulasi *software* yaitu ALOHA. Dalam memetakan risiko mengacu pada *F-N Curve* milik ACDS *Tolerability of Transport Risk Framework*. Jika risiko tidak dapat diterima langkah selanjutnya adalah memitigasi risiko yang berada pada kategori intoleran dan ALARP. Berdasarkan identifikasi bahaya menggunakan FMEA maka risiko yang dapat terjadi meliputi BLEVE, *explosions*, *flash fire*, *jet fire*, dan *gas dispersion*. Masing-masing bahaya di skenarioikan berdasarkan diameter lubang kebocoran yaitu lubang kebocoran 1-3 mm, 3-10 mm, 10-50 mm, serta 50-150. Dari hasil penelitian ini

adapun risiko yang masuk kedalam kategori ALARP adalah BLEVE, *explosions*, dan *gas dispersion*. Sehingga dilakukan langkah mitigasi menggunakan LOPA. Mitigasi risiko menggunakan LOPA ada beberapa cara yang dapat dilakukan seperti memberikan redudansi pada sistem dan dengan cara memberikan independen proteksi atau biasa disebut *independent protection layer* (IPL) seperti *gas detector*, *flamebale detector*, *smoke detector*, *pressure alarm*, *temperature alarm*, dan lain-lain. Mitigasi dilakukan dengan penambahan IPL untuk mengurangi nilai frekuensi jika risiko tidak dapat diterima. Setelah dimitigasi risiko dapat diterima atau dengan kata lain masuk kedalam kategori ACCPETABLE.

Kata kunci: ALOHA, ETA, FMEA, FTA, FN-Curve, LOPA.

Risk Assessment Using Dual Fuel System (LNG-Fuel Oil) On MT.Senipah PT. Pertamina (Persero) Perkapalan

Nama Mahasiswa : Atandho Gama Magwasyar
NRP : 4212 100 140
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : AAB Dinariyana DP, ST, MES, Ph.D
Dr. I Made Ariana, ST, MT

Abstract

Dual fuel sytem is one method of reducing emissions produced by existing ship. The use of dual fuel system on board has risks that could endanger the crew (ABK). So that the risk assessment should be done for a dual fuel system is safe to use and does not endanger the crew (ABK). This research discusses the risks of using dual fuel system on the tanker MT. Senipah PT. Pertamina (Persero) Perkapalan. To conduct a risk assessment to be done is to identify hazards, analyzing the frequency and consequences, and represents a risk in the form of F-N Curve. The method used to identify the hazard of using FMEA. Frequency analysis using methods ETA and FTA. As for the analysis of the consequences of using simulation software that is ALOHA. In mapping the risk refers to the F-N Curve ACDS tolerability of Transport Risk Framework. If the risk is not acceptable next step is to mitigate the risks that are in the category of intolerant and ALARP. Based on the identification of the hazard of using FMEA then the risks that can occur include BLEVE, Explosions, flash fire, jet fire, and gas dispersion. Each hazard in scenario by the hole diameter hole leakage is 1-3 mm, 3-10 mm, 10-50 mm and 50-150 mm. From the results of this study as for the risk of falling in the category ALARP is BLEVE, Explosions, and gas dispersion. So do mitigation using LOPA. Risk mitigation using LOPA there are several ways you can do as provide redundancy in the system and by providing independent protection or so-called independent protection layer

(IPL) as a gas detector, flamebale detector, smoke detector, pressure alarms, temperature alarms, and others. Mitigation is done with the addition of IPL to reduce the value of the frequency if the risk is unacceptable. After mitigated the risks are acceptable or in other words in the category accpetable.

Keywords: ALOHA, ETA, FMEA, FTA, FN-Curve, LOPA.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	ix
ABSTRAK	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GRAFIK	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pengetahuan Umum LNG	7
2.2 Fuelling System	8
2.3 Dual Fuel	8
2.3.1 Komponen	10
2.4 Penilaian Risiko.....	12
2.4.1 Hazard Identification	13
2.4.2 Analisis Frekuensi	16
2.4.3 Analisis Konsekuensi	22
2.4.4 Evaluasi Risiko.....	23
2.5 Layer Of Protection (LOPA)	25
2.6 Pool Fire	25
2.7 Jet Fire	25
2.8 Flash Fire.....	26
2.9 BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Perumusan Masalah.....	28
3.2 Studi Literatur.....	28

3.3	Pengumpulan Data	28
3.4	Hazard Identification	29
3.5	Risk Analysis.....	29
3.6	Risk Assessment.....	29
3.7	Kesimpulan dan Saran.....	30
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Pengumpulan Data	31
4.1.1	Data Utama Kapal	31
4.1.2	Layout Dual Fuel System MT. Senipah	34
4.1.3	P&ID Dual Fuel System MT. Senipah	39
4.2	Deskripsi Sistem.....	42
4.3	Penilaian Risiko.....	46
4.3.1	Identifikasi bahaya (Hazard Identification).....	46
4.3.2	Analisis Frekuensi	51
4.3.3	Analisis Konsekuensi	66
4.3.4	Penilaian Risiko.....	76
4.3.5	Mitigasi	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		88
5.1.	Kesimpulan.....	89
5.2.	Saran.....	90
DAFTAR PUSTAKA.....		91
LAMPIRAN		93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Diagram <i>Fuelling System</i>	8
Gambar 2. 2 Bit Viking Tanker Menggunakan <i>Dual Fuel</i>	9
Gambar 2. 3 <i>LNG Storage Tank of Bit Viking Tanker</i>	11
Gambar 2. 4 Tahapan FMEA	13
Gambar 2. 5 Contoh <i>Worksheet FMEA</i>	15
Gambar 2. 6 Simbol-simbol FTA.....	18
Gambar 2. 7 Contoh <i>Event Tree Analysis (Bernechea, 2012)</i>	20
Gambar 2. 8 <i>Start Page Relex Software</i>	21
Gambar 2. 9 <i>Aloha Software</i>	23
Gambar 2. 10 <i>F-N Curve ACDS Tolerability of Transport Risk Framework (DNV, 2013)</i>	24
 Gambar 3. 1 Flowchart Metode Penelitian.....	 27
 Gambar 4. 1 MT. Senipah	 32
Gambar 4. 2 MT. Bit Viking	33
Gambar 4. 3 Contoh Layout Tangki LNG.....	35
Gambar 4. 4 Tampak Samping Kapal Bit Viking	36
Gambar 4. 5 Tampak Atas Kapal Bit Viking	36
Gambar 4. 6 Gambaran Peletakan GUV Pada Kapal Bit Viking	36
Gambar 4. 7 Peletakan GUV Pada Platform Kapal Bit Viking...	37
Gambar 4. 8 <i>Dual Fuel System Layout</i>	38
Gambar 4. 9 LNGPac P&ID.....	40
Gambar 4. 10 GUV to Engine P&ID.....	42
Gambar 4. 11 P&ID <i>Dual Fuel System</i>	45
Gambar 4. 12 Blok diagram <i>dual fuel system</i>	47
Gambar 4. 13 Halaman Awal Relex 2009.....	54
Gambar 4. 14 <i>Worksheet Relex 2009 Software</i>	54
Gambar 4. 15 Mengedit Nama <i>Top Event</i> dan <i>Gate</i>	55
Gambar 4. 16 FTA pada <i>PBE System</i>	56
Gambar 4. 17 Input Nilai <i>Leakage Frequency</i> Komponen	57
Gambar 4. 18 <i>FTA Calculations Relex 2009</i>	58

Gambar 4. 19 FTA <i>Gas Release</i> untuk PBE System	59
Gambar 4. 20 ETA untuk <i>PBE System</i> Kategori Small.....	64
Gambar 4. 21 Aplikasi <i>FindShip</i>	67
Gambar 4. 22 Input Location ALOHA	68
Gambar 4. 23 <i>Input Building Type</i>	69
Gambar 4. 24 <i>Input Chemical Data</i>	69
Gambar 4. 25 <i>Input Atmospheric Data</i>	70
Gambar 4. 26 <i>Input Source Data</i>	71
Gambar 4. 27 Mode Kegagalan.....	72
Gambar 4. 28 Hasil Dari Simulasi ALOHA.....	72
Gambar 4. 29 <i>Threat Zone Flash Fire</i>	74

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Jenis Kecelakaan Pada sistem LNG	3
Tabel 1. 2 Jenis Kecelakaan Pada sistem LNG Jenis Kecelakaan Mode Operasi LNG.....	3
 Tabel 2. 1 Komposisi LNG (<i>Stefana E., Marciano F., Alberti M. 2015</i>).....	7
Tabel 2. 2 Istilah-istilah Dalam FTA.....	18
 Tabel 4. 1 Data Utama MT.Senipah.....	32
Tabel 4. 2 Data Utama Bit Viking.....	33
Tabel 4. 3 <i>Severity Index (Indian Standart, 2006)</i>	49
Tabel 4. 4 <i>Probability Index (Indian Standart, 2006)</i>	50
Tabel 4. 5 <i>Detection Index (Indian Standart, 2006)</i>	50
Tabel 4. 6 <i>Release Frequency of PBE System</i>	52
Tabel 4. 7 <i>Frekuensi Gas Release PBE System</i>	60
Tabel 4. 8 <i>Frekuensi Gas Release MGE System</i>	60
Tabel 4. 9 <i>Frekuensi Gas Release Gvu System</i>	60
Tabel 4. 10 <i>Flow Release dan Ignition Probability PBE System</i>	62
Tabel 4. 11 <i>Flow Release dan Ignition Probability MGE System</i>	62
Tabel 4. 12 <i>Flow Release dan Ignition Probability Gvu System</i>	62
Tabel 4. 13 <i>Ignition Probability</i>	63
Tabel 4. 14 <i>Nilai Frekuensi Bahaya Pada PBE System</i>	65
Tabel 4. 15 Rekap Hasil ALOHA	75
Tabel 4. 16. Hasil Penilaian Risiko BLEVE Pada PBE	76
Tabel 4. 17 Hasil Penilaian Risiko Explosion Pada PBE	78
Tabel 4. 18 Hasil Penilaian Risiko <i>Flash Fire</i> Pada PBE	79
Tabel 4. 19 Hasil Penilaian Risiko <i>Gas Dispersion</i> Pada PBE ...	80
Tabel 4. 20 LOPA Untuk BLEVE Pada PBE.....	82
Tabel 4. 21 Hasil Penilaian Risiko Setelah Mitigasi	84
Tabel 4. 22 LOPA Untuk Explosion Pada PBE	85
Tabel 4. 23 Hasil Penilaian Risiko Explosion Setelah Mitigasi ..	86

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 F-N <i>Curve BLEVE</i> Skenario <i>Bore Hole</i> 1-3 mm	77
Grafik 4. 2 F-N <i>Curve Explosion</i> Skenario <i>Bore Hole</i> 1-3 mm ..	78
Grafik 4. 3 F-N <i>Curve Flash Fire</i> Skenario <i>Bore Hole</i> 1-3 mm .	80
Grafik 4. 4 F-N <i>Curve Gas Dispersion</i> Skenario <i>Bore Hole</i> 1-3 mm.....	81
Grafik 4. 5 F-N <i>Curve BLEVE</i> Setelah Mitigasi Skenario <i>Bore Hole</i> 1-3 mm.....	84
Grafik 4. 6 F-N <i>Curve Explosion</i> Setelah Mitigasi Skenario <i>Bore Hole</i> 1-3 mm.....	87

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketergantungan penggunaan bahan bakar minyak menjadi sebab dari semakin menipisnya cadangan minyak bumi. Kebutuhan minyak bumi dari hari ke hari semakin meningkat khususnya pada bidang industri. Hal ini menyebabkan semakin buruknya krisis minyak bumi di dunia. Kondisi ini berdampak besar pada industri maritim khususnya industri perkapalan dan pelayaran. Misalnya adalah PT. Pertamina (Persero) Perkapalan yang mengoperasikan lebih dari 200 kapal yang membutuhkan bahan bakar HFO maupun MDO. Sehingga kebutuhan akan bahan bakar yang tinggi untuk mengoperasikan kapal.

Dengan adanya krisis minyak bumi ini maka harga minyak bumi akan ikut meningkat. Semakin tingginya harga minyak maka semakin tidak menguntungkan untuk industri perkapalan dan pelayaran. Untuk saat ini seluruh kapal yang dioperasikan PT. Pertamina (Persero) Perkapalan menggunakan bahan bakar MDO maupun HFO. Sehingga untuk menghadapi permasalahan krisis minyak bumi maka muncullah inovasi motor menggunakan bahan bakar *dual fuel*. *Dual fuel system* menggunakan dua bahan bakar yaitu HFO/MDO dan LNG.

LNG sendiri adalah gas alam yang telah diproses dan dicairkan pada temperatur -162°C . Beberapa keuntungan memakai LNG sebagai bahan bakar adalah ramah lingkungan karena kandungan karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar mentah yang saat ini masih banyak digunakan dan dapat mengurangi sulfur oksida (SOx). Keuntungan yang lainnya dalam sisi ekonomi adalah LNG lebih murah. Serta penggunaan *dual fuel* dapat mendukung program EEDI yang dikeluarkan oleh IMO guna menuju pada regulasi IMO Tier III.

EEDI (*Efficiency Energy Design Index*) menyediakan metode untuk menetapkan efisiensi minimum kapal tergantung pada jenis kapal dan ukuran. EEDI akan berlaku di sejumlah

tahapan yang bertujuan meningkatkan pembatasan pada emisi CO₂. Tahapan saat ini telah menyebabkan desainer dan operator untuk meretrofit teknologi yang sudah ada dan membuat perubahan operasional pada lambung dan efisiensi mesin. Perubahan yang lebih mendasar dalam desain kapal akan dibutuhkan agar kapal memenuhi aturan. EEDI akan menjadi parameter desain yang penting.

PT. Pertamina (Persero) Perkapalan melalui program *ecoship* yang mendukung program IMO akan mengkonversi kapal-kapal milik PT. Pertamina (Persero) Perkapalan menjadi *dual fuel system*. Alasan utama menggunakan *dual fuel* adalah harga LNG untuk beberapa tahun kemarin jauh lebih murah dibandingkan dengan HFO, tetapi demi keamanan *stock* (jika LNG susah didapatkan) serta mengakomodir kondisi harga minyak yang lagi rendah seperti saat ini, maka *dual fuel* adalah solusi terbaik. Serta penggunaan *dual fuel* dapat berkontribusi terhadap pengurangan emisi gas buang dan memanfaatkan gas alam yang masih jarang digunakan. Guna mendukung program *ecoship* PT. Pertamina (Persero) Perkapalan penkonversian menjadi *dual fuel system* diperlukan kajian terhadap penilaian risiko *system fuelling* LNG untuk bahan bakar kapal. *System fuelling* dan *bunkering* menggunakan gas memiliki tingkat risiko bahaya yang tinggi. Sehingga penilaian risiko terhadap *system fuelling* yang telah direncanakan akan menjadi bahan kajian yang dapat dianalisis. Studi kasus yang dipakai adalah kapal tanker milik PT. Pertamina (Persero) Perkapalan, ditinjau dari segi teknis berupa sistem bahan bakar dan sistem yang ada pada kapal.

Tabel 1. 1 Jenis Kecelakaan Pada sistem LNG

Type of system	Number	Percentage (%)
LNG ship	21	43.75
LNG storage facility	9	18.75
LNG export and liquefaction terminal	6	12.5
Regasification terminal	5	10.42
LNG truck (tanker)	4	8.33
Other	3	6.25
Total	48	100

Tabel 1. 2 Jenis Kecelakaan Pada sistem LNG Jenis Kecelakaan Mode Operasi LNG

Mode of operation	Number	Percentage (%)
Loading/unloading of LNG	15	31.25
Transportation of LNG	8	16.67
Liquefaction of LNG	6	12.5
Maintenance/cleaning of the plan	4	8.33
Use of an LNG truck	4	8.33
Regasification of LNG	4	8.33
Storage of LNG	4	8.33
Construction of an LNG tank	2	4.17
Other	1	2.08
Total	48	100

Source: Stefana E., Marciano F., Alberti M. (2015). "Qualitative risk assessment of a Dual Fuel (LNG-Diesel) system for heavy-duty trucks". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 39 (2016), 39-58

Kedua tabel 1.1 dan tabel 1.2 menunjukkan beberapa kasus kecelakaan fasilitas LNG pada beberapa sistem LNG. Nilai

kecelakaan yang terbilang lumayan banyak ini maka perlu dilakukan penilaian risiko agar kecelakaan pada fasilitas LNG dapat dikurangi atau bahkan dihilangkan.

1.2 Perumusan Masalah

- a. Apa saja bahaya dan mode kegagalan yang mungkin terjadi dari penggunaan *dual fuel system* pada kapal tanker milik PT. Pertamina (Persero) Perkapalan ?
- b. Bagaimana menentukan nilai frekuensi bahaya dari *dual fuel system* (LNG-Fuel Oil) pada kapal tanker milik PT. Pertamina (Persero) Perkapalan?
- c. Bagaimana menentukan konsekuensi dari bahaya yang ditimbulkan dari kegagalan *dual fuel system*?
- d. Bagaimana langkah mitigasi yang dilakukan jika risiko tidak dapat diterima?

1.3 Batasan Masalah

Agar dalam pengerjaan tugas akhir dapat terfokus dan tertata, maka diperlukannya batasan masalah diantaranya:

1. Penelitian membahas tentang penilaian risiko yang terjadi karena adanya kebocoran pada komponen-komponen *dual fuel system* (LNG-Diesel).

1.4 Tujuan

- a. Mengidentifikasi bahaya dan mode kegagalan dari *dual fuel system* (LNG-Fuel Oil) pada kapal tanker milik PT. Pertamina (Persero) Perkapalan menggunakan FMEA.
- b. Menentukan nilai frekuensi menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Event Tree Analysis* (ETA).
- c. Menentukan nilai konsekuensi dari bahaya yang ditimbulkan menggunakan *ALPHA Software*.

- d. Menentukan langkah mitigasi jika risiko tidak dapat diterima.

1.5 Manfaat

- a. Hasil penilaian risiko *dual fuel system* (LNG-Fuel Oil) pada kapal tanker Pertamina dapat digunakan sebagai acuan pengkonversian mesin konvensional menjadi mesin *dual fuel*.
- b. Sebagai kajian risiko penggunaan LNG *fuel* untuk kapal tanker.
- c. Dapat meminimalisir risiko dari kegagalan penggunaan *dual fuel system*.
- d. Dapat digunakan sebagai bahan evaluasi dalam pengkonversian dari *conventional fuel system* menjadi *dual fuel system* untuk kapal.

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengetahuan Umum LNG

LNG (*Liquified Natural Gas*) adalah gas alam (metana- CH_4) yang dicairkan dengan cara menurunkan suhunya sampai dengan -162°C pada tekanan atmosfer sehingga gas menjadi cair dan volumenya akan menyusut sampai 1/600 kali volume asal. Karena komposisi utama LNG adalah metana, sehingga mempunyai kandungan kalori yang tinggi, yaitu sekitar 12.000 kkal/kg. (*Soegiono & Ketut Buda, 2006*)

Tabel 2. 1 Komposisi LNG (*Stefana E., Marciano F., Alberti M. 2015*)

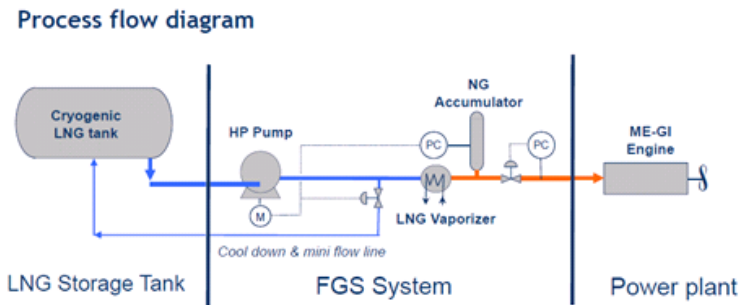
LNG Composition	
Component	Mole fraction
Methane (C1)	0.940
Ethane (C2)	0.047
Propane (C3)	0.008
Butane (C4)	0.002
Nitrogen (N_2)	0.003

Tabel 2.1 menunjukkan komposisi dari LNG. Kandungan ini lebih tinggi dari bahan bakar fosil lain seperti barubara dan minyak tanah. LNG menawarkan kepadatan energi yang sebanding dengan bahan bakar diesel dan menghasilkan polusi lebih sedikit. Sedangkan kekurangan LNG adalah biaya perencanaan dan perancangan sistem yang relatif tinggi serta *safety system* yang harus diperhatikan dalam penggunaan sistem LNG. Desain tangki

LNG yang menggunakan *cryogenic* harganya mahal untuk saat ini. Perkembangan dunia maritim mendorong penggunaan bahan bakar LNG pada kapal, baik dikombinasikan dengan bahan bakar minyak maupun sepenuhnya berbahan bakar LNG.

2.2 *Fuelling System*

Fuelling adalah proses memindahkan bahan bakar di kapal, dari tangki penyimpanan bahan bakar menuju mesin induk.



Gambar 2. 1 Skema Diagram *Fuelling System*

Gambar 2.1 adalah gambar diagram sederhana bagaimana bahan bakar LNG digunakan pada motor induk. Komponen-komponen dalam sistem bahan bakar antara lain *LNG storage tank*, *suction drum*, pompa, *LNG vapourizer*, serta *GVU (Gas Valve Unit)*.

2.3 *Dual Fuel*

Motor penggerak utama kapal saat ini terutama untuk kapal-kapal niaga sebagian besar menggunakan *diesel engine*. *Diesel engine* dianggap paling cocok karena memiliki tingkat efisiensi termal yang mampu dicapai (hingga 48%) dan rendahnya emisi NO_x yang ditimbulkan (hingga 3 kg/kWh). Motor *dual fuel* memakai dua sistem bahan bakar yaitu menggunakan LNG

sebagai bahan bakar utama dan MDO/HFO sebagai bahan bakar penunjang, dimana MDO/HFO digunakan pada saat tertentu contohnya saat kapal bermanuver dan mesin mulai beroperasi.

Proses penggunaan atau distribusi LNG sebagai bahan bakar dari *storage tank* LNG dalam bentuk cair dialirkan menuju evaporator kemudian dipanaskan sampai mencapai suhu 0°C sehingga LNG akan berubah fase dari cair menjadi gas. Dalam bentuk gas LNG lalu didistribusikan dengan menggunakan GVV (*Gas Valve Unit*) yang diletakan antara LNG *storage tank* dan motor induk.



Gambar 2. 2 Bit Viking Tanker Menggunakan *Dual Fuel*

Gambar 2.2 menunjukkan kapal tanker “Bit Viking” berbahan bakar LNG. Penggunaan bahan bakar utama adalah gas, sehingga menghasilkan emisi pembakaran yang baik dibandingkan dengan diesel. Motor *dual fuel* bekerja berdasarkan siklus otto, gas alam dengan tekanan rendah (kurang dari 5 bar) diinjeksikan pada katup *intake* (katup udara) pada setiap silinder saat langkah *intake*.

Motor diesel yang saat ini beroperasi dapat dikonversi menjadi mesin *dual-fuel* dengan menambahkan penggunaan konverter. Akan tetapi biaya peralatan konversi *dual fuel* hampir sama dengan pembelian motor induk baru, meskipun instalasi mungkin lebih murah dan mudah. Ketika menkonversi dari *diesel engine* agar dapat memakai gas alam, biaya terbesar adalah pemasangan tangki LNG, pipa, dan sistem keselamatan.

Dengan besarnya biaya yang digunakan untuk mengkonversi mesin diesel, keputusan menkonversi kapal yang sudah ada untuk dapat menggunakan LNG akan sangat tergantung pada penghematan penggunaan bahan bakar setelah itu. Pengoperasian kapal dan penggunaan bahan bakar, harga LNG, dan biaya konversi awal. Keuntungan tentunya akan didapat dengan pengoperasian kapal yang ditingkatkan, biaya pembelian LNG yang murah dengan memanfaatkan kelebihan LNG di terminal LNG, dan biaya konversi yang lebih rendah.

2.3.1 Komponen

Pada umumnya komponen *ventilation valves* pada sistem bahan bakar LNG di kapal terdiri dari tangki yang ada di *tank room*, *gas evaporator*, GVU (*gas valve unit*), dan *main engine*.

1. Gas Valve Unit (GVU)

Gas valve unit bertugas sebagai katup yang mengatur tekanan gas yang masuk ke *main engine*. GVU juga melakukan pengecekan awal terhadap kebocoran sebelum *main engine* dioperasikan. Komponen pada GVU adalah *manual shut off valve*, *gas filter*, *pressure control valve*, dan *nitrogen inerting valves*.

2. Evaporator

Evaporator berfungsi untuk mengubah LNG yang masuk pada suhu -162°C dalam bentuk cair menjadi bentuk gas.

3. *Storage Tank* LNG

LNG *storage tank* memiliki spesifikasi khusus untuk menyimpan LNG, LNG mempunyai suhu *cryogenic* ekstrim sekitar -150°C . Untuk menyimpannya maka butuh material khusus yang tahan terhadap suhu *cryogenic*, seperti *aluminium alloy*.



Gambar 2. 3 *LNG Storage Tank of Bit Viking Tanker*

Gambar 2.3 adalah gambar tangki LNG yang digunakan untuk kapal tanker Bit Viking.

2.4 Penilaian Risiko

Penilaian risiko adalah metode yang digunakan untuk menentukan nilai dari suatu risiko kejadian dari bahaya yang ada. Penilaian risiko dilakukan terhadap suatu objek dengan mengidentifikasi kejadian-kejadian yang mungkin terjadi sehingga memberikan nilai bahaya dalam skala tertentu.

Beberapa teknik dalam melakukan kajian risiko diantaranya yaitu:

- *Preliminary Hazard Analysis* (PHA)
- *Hazard Identification Study* (HAZID)
- *Hazard and Operability Studies* (HAZOP)
- *Failure Mode, Effect, and Analysis* (FMEA)
- *Fault Tree Analysis* (FTA)
- *Event Tree Analysis* (ETA)

Secara umum penilaian risiko dapat dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

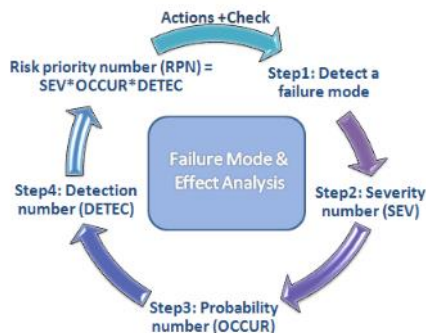
1. *Hazard identification* (identifikasi bahaya)
2. *Frequency analysis* (analisa frekuensi)
3. *Consequence analysis* (analisa konsekuensi)
4. *Risk evaluation*

2.4.1 Hazard Identification

Hazard identification adalah suatu proses yang bertujuan untuk mengidentifikasi bahaya-bahaya (*hazard*) yang terjadi. *Hazard* juga dapat diartikan sebagai potensi dari rangkaian sebuah kejadian, yang muncul dan dapat menimbulkan kerugian. Apabila salah satu bagian dari serangkaian kejadian hilang, maka suatu kejadian tidak akan terjadi. Dalam tugas akhir penilaian risiko penggunaan *dual fuel system* (LNG-Fuel Oil) pada kapal tanker Pertamina identifikasi bahaya akan menggunakan metode FMEA (*failure mode and effect analysis*).

2.4.1.1 FMEA

FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) adalah salah satu metode analisis *failure*/potensi kegagalan yang diterapkan dalam pengembangan produk, *system engineering* dan manajemen operasional. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan berbagai bahaya yang ditimbulkan dan dapat dilihat melalui sebab terjadinya bahaya/dampak dari suatu *system failure*. Pada *dual fuel system* FMEA akan digunakan sebagai metode untuk mengidentifikasi bahaya/dampak yang ditimbulkan dari gagalnya komponen yang ada didalam *dual fuel system*.



Siklus FMEA. Gambar: Wikipedia

Gambar 2. 4 Tahapan FMEA

Adapun langkah-langkah melakukan FMEA adalah sebagai berikut:

1. Kumpulkan seluruh anggota tim.
2. Tetapkan aturan dasar.
3. Kumpulkan informasi yang relevan dan lakukan *review*.
4. Identifikasi item atau proses yang akan dianalisis.
5. Identifikasi fungsi, kegagalan, efek, penyebab, dan kontrol dari setiap item atau proses yang dianalisis.
6. Evaluasi risiko berkaitan dengan isu atau potensi yang teridentifikasi melalui analisis.
7. Prioritaskan dan rumuskan aksi / solusi.
8. Lakukan tindakan pembetulan dan evaluasi ulang risiko yang ada.
9. Distribusikan, *review* dan *update* analisis sesuai kebutuhan.

Pada dasarnya FMEA merupakan suatu analisa potensi-potensi kegagalan yang diwujudkan dalam bentuk angka-angka penilaian (*Score*). Proses penilaian (*scoring*) ini adalah untuk menentukan angka *Risk Priority Number* (RPN). RPN adalah indikator kekritisitas untuk menentukan tindakan koreksi yang sesuai dengan mode kegagalan. RPN digunakan oleh banyak

prosedur FMEA untuk menaksir risiko menggunakan tiga kriteria berikut:

- Keparahan efek (*Severity*) S – Seberapa serius efek akhirnya?
- Kejadian penyebab (*Occurrence*) O – Bagaimana penyebab terjadi dan akibatnya dalam moda kegagalan?
- Deteksi penyebab (*Detection*) D – Bagaimana kegagalan atau penyebab dapat dideteksi sebelum mencapai tujuan?

Angka prioritas RPN merupakan hasil kali rating keparahan, kejadian, dan deteksi. Angka ini hanyalah menunjukkan *ranking* atau urutan defisiensi desain sistem.

$$RPN = S \times O \times D$$

Nilai RPN yang tinggi akan membantu memberikan pertimbangan untuk tindakan korektif pada setiap moda kegagalan.

Function	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	S	Potential Cause(s) of Failure	O	Current Process Controls	D	R P N	C R I T	Recommended Action(s)	Responsibility and Target Completion Date	Action Results				
												Action Taken	S	O	D	R P N
Dispense amount of cash requested by customer	Does not dispense cash	Customer very dissatisfied Incorrect entry to demand deposit system Discrepancy in cash balancing	8	Out of cash	5	Internal low-cash alert	5	200	40							
				Machine jams	3	Internal jam alert	10	240	24							
				Power failure during transaction	2	None	10	160	16							
	Dispenses too much cash	Bank loses money Discrepancy in cash balancing	6	Bills stuck together	2	Loading procedure (w/feels ends of stack)	7	84	12							
				Denominations in wrong trays	3	Two-person visual verification	4	72	18							
	Takes too long to dispense cash	Customer somewhat annoyed	3	Heavy computer network traffic	7	None	10	210	21							
				Power interruption during transaction	2	None	10	60	6							

Gambar 2. 5 Contoh *Worksheet* FMEA

Gambar 2.5 adalah contoh FMEA *worksheet* dimana ditunjukkan perhitungan RPN. Dijelaskan fungsi dari suatu sistem kemudian dijelaskan potensi kegagalan, dampak yang ditimbulkan serta cara *controlling*.

2.4.2 Analisis Frekuensi

Setelah melakukan mengidentifikasi bahaya (*Hazard Identification*), maka langkah selanjutnya ialah analisis frekuensi atau peluang kemunculan bahaya yang telah diidentifikasi. Terdapat beberapa metode kuantitatif yang dapat digunakan dalam tahapan ini, salah satunya adalah FTA (*Fault Tree Analysis*).

2.4.2.1 FTA (*Fault Tree Analysis*)

Fault Tree Analysis (FTA) adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi risiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat *top down*, yang diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian punak (*Top Event*) kemudian merinci sebab-sebab suatu *Top Event* sampai pada suatu kegagalan dasar (*root cause*). Untuk mengidentifikasi terjadinya suatu kegagalan dari berbagai cara, baik dari faktor fisik maupun manusia, yang dapat mengarah pada penyebab dari terjadinya kegagalan/kesalahan tersebut.

Manfaat dari FTA adalah:

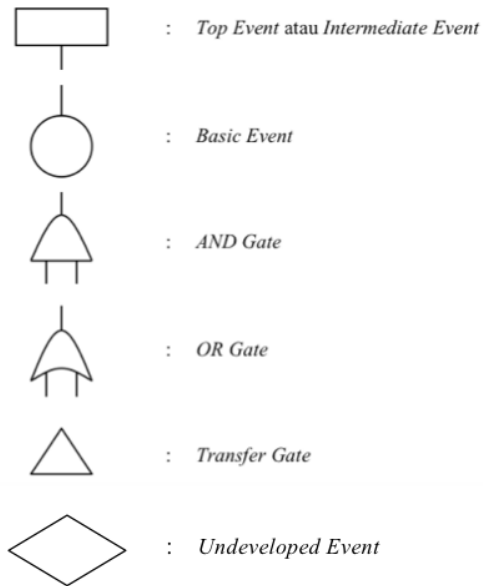
- a. Dapat menentukan faktor penyebab yang kemungkinan besar menimbulkan kegagalan.
- b. Menemukan tahapan kejadian yang kemungkinan besar sebagai penyebab kegagalan.

- c. Menganalisa kemungkinan sumber-sumber risiko sebelum kegagalan timbul.
- d. Menginvestigasi suatu kegagalan.

Tahapan-tahapan menyusun FTA menurut Thomas Pyzdex (2002):

1. Tentukan kejadian paling atas/utama.
2. Tetapkan batasan FTA.
3. Periksa system untuk mengerti bagaimana berbagai elemen berhubungan pada satu dengan lainnya dan kejadian paling atas.
4. Buat pohon kesalahan, mulai dari kejadian paling atas dan bekerja kearah bawah.
5. Analisis pohon kesalahan untuk mengidentifikasi cara dalam menghilangkan kejadian yang mengarah pada kegagalan.

Persiapkan rencana tindakan perbaikan untuk mencegah kegagalan.



Gambar 2. 6 Simbol-simbol FTA

Tabel 2. 2 Istilah-istilah Dalam FTA

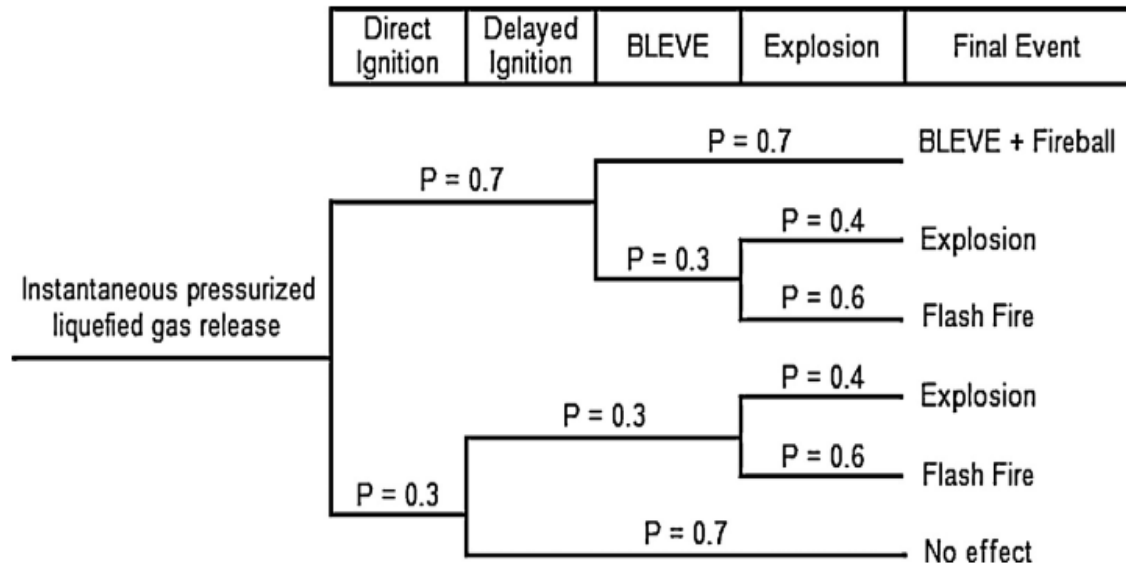
Istilah	Keterangan
<i>Top Event</i>	Penyimpangan yang diharapkan dari suatu keadaan normal pada suatu komponen dari system
<i>Top Event</i>	Kejadian yang dikehendaki pada "puncak" yang akan diteliti lebih lanjut ke arah kejadian dasar lainnya dengan menggunakan gerbang logika untuk menentukan penyebab kegagalan
<i>Logic Event</i>	Hubungan secara logika antara input dinyatakan dalam AND dan OR
<i>Transfer Gate</i>	Segitiga yang digunakan simbol transfer. Simbol ini menunjukkan bahwa uraian lanjutan kejadian berada di halaman lain

<i>Undeveloped Event</i>	Kejadian dasar (<i>Basic Event</i>) yang tidak akan dikembangkan lebih lanjut karena tidak tersedianya informasi.
<i>Basic Event</i>	Kejadian yang tidak diharapkan yang dianggap sebagai penyebab dasar sehingga tidak perlu dilakukan analisis lebih lanjut.

Secara umum metode *fault tree analysis* adalah sebuah metode menyelesaikan kasus apabila terjadi sesuatu kegagalan atau hal yang tidak diinginkan dengan mencari akar akar permasalahan. *Basic Events* yang muncul dan diuraikan dari setiap indikasi kejadian puncak (*Top Event*). Metode ini dapat dikembangkan secara lanjut dengan metode probabilitas dari setiap akar permasalahan dan dihitung berapa persen kemungkinan pengaruh *Basic Event* terhadap *Top Event*

2.4.2.2 ETA (*Event Tree Analysis*)

Event tree analysis adalah teknik analisis untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi urutan peristiwa dalam scenario kecelakaan yang berpotensi terjadi. ETA menggunakan struktur pohon logika visual yang dikenal sebagai pohon kejadian. Tujuan dari ETA adalah untuk menentukan apakah suatu kejadian akan berkembang menjadi sebuah kecelakaan serius atau jika peristiwa tersebut dapat dikendalikan oleh system keselamatan dan prosedur yang diterapkan dalam desain sistem. ETA dapat menghasilkan berbagai kemungkinan hasil keluaran dari sebuah kejadian awal dan dapat memprediksi kemungkinan terjadinya kecelakaan untuk setiap hasil keluaran

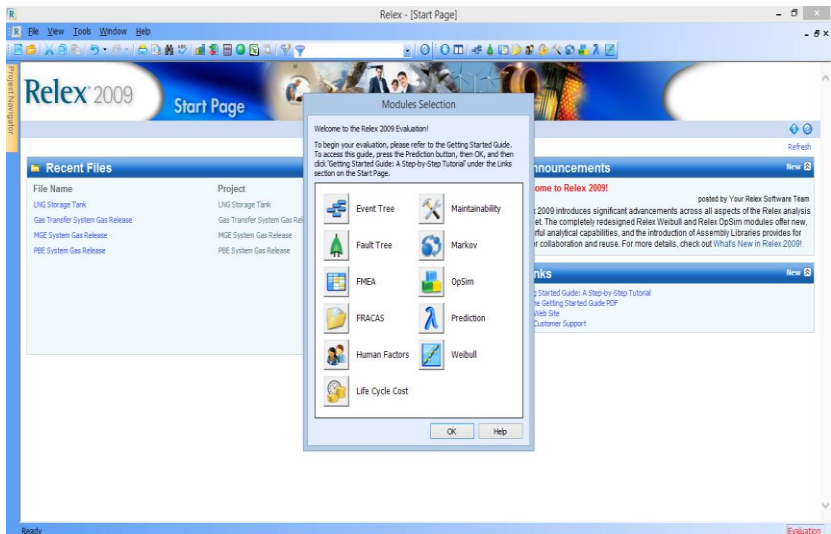


Gambar 2. 7 Contoh *Event Tree Analysis* (Bernechea, 2012)

Gambar 2.7 menunjukkan contoh skema ETA (*Event Tree Analysis*) dari *gas release LNG* pada *dual fuel system*.

2.4.2.3 RELEX 2009

Relex 2009 merupakan *software* yang dapat membantu dalam simulasi perhitungan untuk bidang *reliability*, *maintability*, dan *safety*. Relex merupakan *software* untuk penyusun identifikasi bahaya menggunakan FMEA, perhitungan frekuensi menggunakan metode FTA dan ETA serta dapat digunakan sebagai prediksi *reliability*, *maintability*, dan distribusi peluang.



Gambar 2. 8 *Start Page Relex Software*

Gambar 2.8 merupakan tampilan dari Relex 2009 *software* yang akan digunakan untuk menghitung frekuensi menggunakan metode FTA (*fault tree analysis*).

2.4.3 Analisis Konsekuensi

Dalam konteks risiko sistem rekayasa, konsekuensi sering dipresentasikan dalam beberapa ukuran, antara lain:

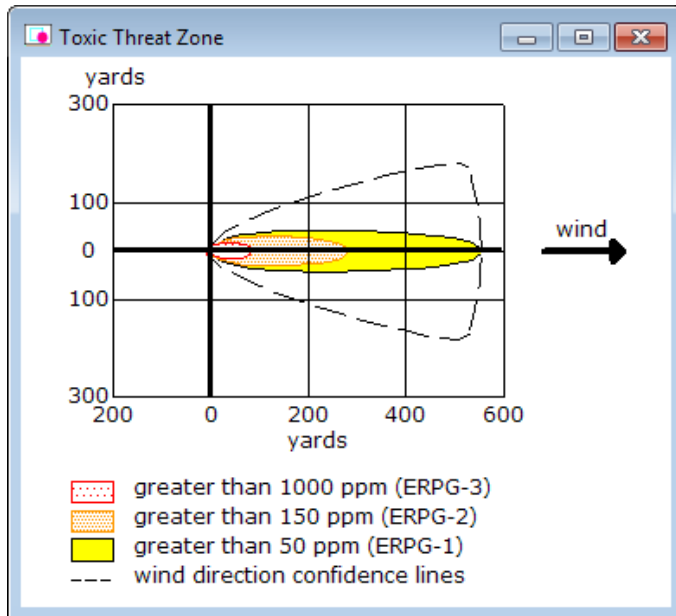
- Jumlah orang yang terkena dampak
- Dampak apa saja yang dialami orang tersebut
- Jumlah kerugian material maupun peralatan
- Dampak pada lingkungan sekitar
- *Finansial loss*

Analisis konsekuensi dilakukan dengan beberapa pendekatan antara lain, dengan mengevaluasi beberapa insiden yang pernah terjadi, pemodelan dengan *software*, pemodelan fisik, atau pendapat kualitatif ahli dalam bidang yang sesuai.

Dalam menentukan konsekuensi terhadap dampak korban jiwa dapat menggunakan *software* ALOHA..

2.4.3.1 ALOHA

ALOHA adalah suatu perangkat lunak/*software* yang berguna untuk merencanakan dan menanggapi keadaan darurat dari bahan kimia misalnya zat *hydrocarbon*. *Software* ALOHA memungkinkan kita untuk memasukkan rincian tentang adanya potensi rilis kimia dan kemudian akan menghasilkan perkiraan zona ancaman untuk berbagai jenis bahaya. ALOHA dapat memodelkan potensi bahaya dari gas beracun, gas yang mudah terbakar, BLEVE, *jet fire*, *pool fire*, dan *vapour cloud expansions*.



Gambar 2. 9 Aloha Software

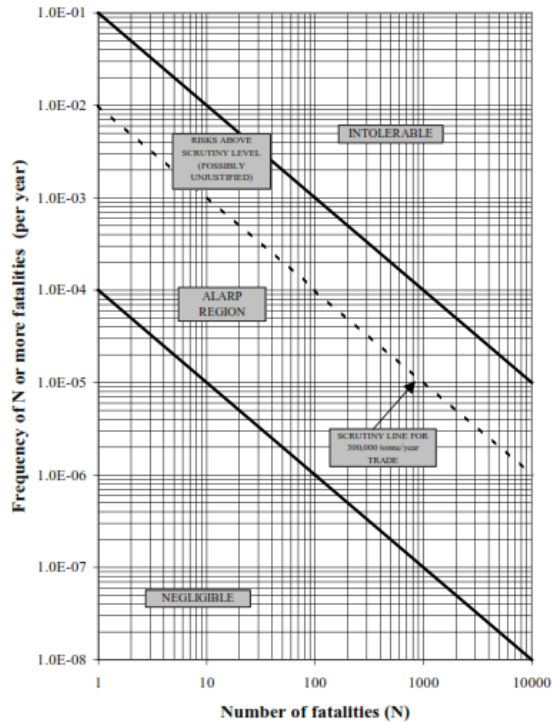
Zona merah mewakili ancaman tingkat bahaya terburuk, dan zona kuning dan oranye mewakili daerah penurunan bahaya

2.4.4 Evaluasi Risiko

Evaluasi risiko dapat dilakukan dengan berbagai cara, misalnya saja dengan *risk matrix*, *F-N curve*, *risk profile*, dsb. Banyak metode yang dapat dipilih dalam evaluasi risiko.

2.4.4.1 F-N Curve

F-N Curve adalah bentuk dari representasi risiko dalam bentuk grafik.



Gambar 2. 10 *F-N Curve ACDS Tolerability of Transport Risk Framework (DNV, 2013)*

Gambar 2.10 diatas adalah F-N Curve yang dimiliki *The Advisory Committee on Dangerous Substances (ACDS)*. Dimana sumbu x-axis menunjukkan representasi adanya korban jiwa atau tingkat *fatality*. Sedangkan sumbu y-axis menunjukkan frekuensi bahaya yang timbul dalam kurun waktu setahun.

Standar *F-N Curve* ini dipilih karena dapat diaplikasikan pada bidang transportasi khususnya untuk transportasi pengangkut zat berbahaya.

2.5 *Layer Of Protection (LOPA)*

LOPA merupakan salah satu metode yang digunakan untuk melakukan langkah mitigasi risiko. Mitigasi risiko adalah suatu tindakan untuk mengurangi nilai frekuensi maupun nilai konsekuensi dari suatu risiko yang tidak dapat diterima atau tolerir. Mitigasi risiko menggunakan LOPA ada beberapa cara yang dapat dilakukan seperti menambahkan komponen pada diagram proses agar dapat mengurangi frekuensi risiko atau dengan kata lain memberikan reduksi pada sistem. Penambahan komponen keselamatan seperti *relief valve*, *safety valve*, dan lain-lain. Memberikan independen proteksi atau biasa disebut *independent protection layer* (IPL) seperti *gas detector*, *flamebale detector*, *smoke detector*, *pressure alarm*, *temperature alarm*, dan lain-lain.

Pada penelitian ini akan digunakan penambahan IPL untuk mengurangi nilai frekuensi jika risiko tidak dapat diterima. Nilai dari frekuensi IPL didapat dari thesis Geun Woong Yun yang berjudul “*Bayesian-LOPA methodology For Risk Assessment Of An LNG Importation Terminal*”. (Geun Woong Yun)

2.6 *Pool Fire*

Suatu peristiwa kebakaran yang dihasilkan dari adanya genangan bahan bakar dan tersulut oleh api. Untuk LNG *pool fire* jarang terjadi dikarenakan ketika LNG keluar dari dalam tangki *cryogenic* LNG yang tadinya berbentuk cair berubah fasa menjadi fasa gas.

2.7 *Jet Fire*

Suatu peristiwa kebakaran yang disebabkan adanya gas yang keluar dari sistem dan ada sumber panas disekitar lokasi keluarnya gas. *Jet fire* merupakan kebakaran dengan kecepatan

tinggi yang disebabkan adanya tekanan pada gas maupun ketika proses keluarnya gas.

2.8 *Flash Fire*

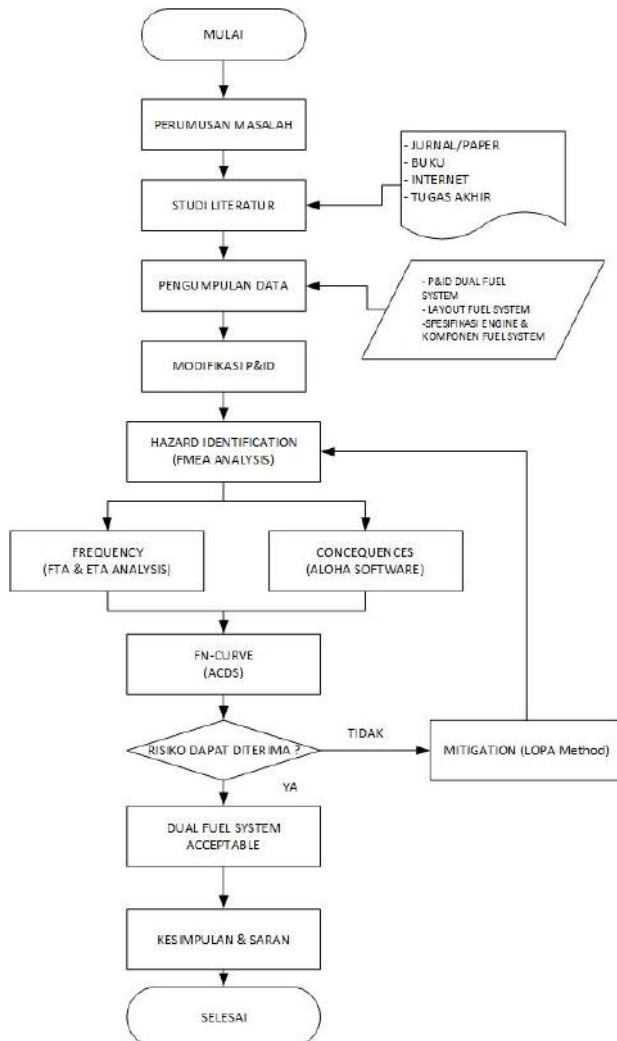
Suatu peristiwa kebakaran yang disebabkan keluar gas dari sistem bercampur dengan udara bebas dan tersulut oleh sumber panas atau api. Jenis kebakaran ini tidak menimbulkan adanya tekanan ledakan.

2.9 *BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)*

Suatu gelombang kejut yang dihasilkan dari penguapan mendadak suatu cairan yang tersimpan pada temperatur diatas titik didihnya pada kondisi atmosfer. Peristiwa BLEVE seringkali diikuti dengan fenomena *fireball* (bola api) jika melibatkan cairan yang dapat menyala dan terlepas dari suatu wadah yang mengalami kerusakan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3. 1 Flowchart Metode Penelitian

Gambar 3.1 merupakan diagram proses penyelesaian tugas akhir. Adapun penjelasan masing-masing langkah pada diagram sebagai berikut:

3.1 Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan proses dimana mencari suatu permasalahan yang sedang berkembang atau sedang menjadi permasalahan yang ada saat ini. Permasalahan yang ada disekitar dapat dijadikan sebagai bahan kajian atau anilisis. Dalam proposal ini permasalahan yang diangkat adalah produksi minyak bumi yang terus menurun sehingga harus mencari bahan bakar alternatif untuk kapal. Dalam bahasan ini bahan bakar alternatif yang digunakan adalah LNG. Dimana kapal-kapal saat ini masih menggunakan bahan bakar minyak yang instalasi sistemnya berbeda dengan sistem bahan bakar *dual fuel* sehingga perlu dilakukan kajian dan analisis penilaian risiko yang ada pada kapal. Untuk permasalahan ini mengambil studi kasus dari kapal tanker milik PT. Pertamina (Persero) Perkapalan.

3.2 Studi Literatur

Merupakan proses untuk memahami suatu permasalahan dengan mempelajari sumber-sumber terkait permasalahan yang diangkat. Dalam studi literatur digunakan beberapa sumber antara lain paper/journal, buku-buku, internet dan lain –lain.

3.3 Pengumpulan Data

Data yang akan dibutuhkan antara lain data kapal, *general arrangement* kapal, *engine room layout* pada kapal, P & ID sistem bahan bakar, P & ID *dual fuel system* kapal, dan *layout dual fuel system* dari kapal. Data-data ini rencananya akan didapatkan dari PT. Pertamina (Persero) Perkapalan.

3.4 *Hazard Identification*

Analisis pertama yang dilakukan dalam penilaian risiko adalah menemukan kegagalan yang mungkin terjadi, sebab, dan bahaya apa saja yang ditimbulkan dalam penggunaan sistem bahan bakar ganda. *Risk identification* menggunakan FMEA mengaju pada standart FMEA dari *Indian Bureau Standart*.

3.5 *Risk Analysis*

Dalam proses ini menentukan frekuensi dan konsekuensi dari kemungkinan bahaya yang ditimbulkan.

a. Analisis Frekuensi

Frekuensi akan di analisis menggunakan FTA (*Fault Tree Analysis*) untuk membreakdown bahaya-bahaya yang ditimbulkan. Kemudian dilanjutkan dengan menggunakan ETA, karena FTA hanya sampai di perhitungan frekuensi *gas release*. Untuk sampai ke bahaya *jet fire*, *flash fire* digunakan ETA.

b. Analisis Konsekuensi

Konsekuensi dari bahaya yang ditimbulkan yang berkaitan tingkat *fatality* dapat menggunakan *software ALOHA*..

3.6 *Risk Assessment*

Proses dimana dapat kita lihat hasil dari penilaian risiko yang telah dilakukan dan dapat dievaluasi kembali apakah sistem penggunaan *dual fuel* dapat digunakan atau tidak. Jika risiko yang ditimbulkan dapat diterima maka sistem dapat digunakan. Jika risiko tidak dapat diterima maka dilakukan mitigasi dengan cara meminimalisir kemungkinan kegagalan yang ada. Untuk mengevaluasi *risk assessment* dapat digunakan F-N Curve. Untuk merepresentasikan risiko digunakan FN-Curve milik *FN-Curve ACDS Tolerability of Transport Risk Framework*.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Dari analisis yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan serta memberikan saran yang tepat untuk penggunaan *dual fuel system* pada kapal tanker.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai rincian detail data kapal serta data-data pendukung lain yang berguna untuk menyelesaikan tugas akhir mengenai penilaian risiko *dual fuel system* (Fuel oil-LNG) pada kapal tanker MT. Senipah milik PT. Pertamina (Persero) Perkapalan. Dalam bab ini akan dibahas juga mengenai identifikasi bahaya menggunakan FMEA analisis. Penentuan dan perhitungan frekuensi akan menggunakan metode FTA dengan bantuan *software* Relex 2009 yang kemudian akan dilanjut menggunakan metode ETA sedangkan untuk konsekuensi menggunakan simulasi *software* ALOHA

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Data Utama Kapal

Data utama kapal yang akan digunakan adalah kapal tanker MT. Senipah milik PT. Pertamina (Persero) Perkapalan. MT. Senipah adalah kapal tanker pengangkut *product oily* yang beroperasi di daerah perairan Indonesia-Singapura. Kapal tanker Senipah menggunakan sistem bahan bakar konvensional sehingga untuk melakukan studi kasus penilaian risiko dibuatlah modifikasi P&ID untuk sistem bahan bakar menggunakan *dual fuel system*. Dalam memodifikasi sistem bahan bakar menggunakan acuan dari kapal tanker Bit Viking dan mengacu pada IGF. Sebelum masuk kedalam modifikasi P&ID sistem bahan bakar adapun data utama kapal MT. Senipah sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Data Utama MT.Senipah

Data Utama Kapal	
Nama Kapal	MT. Senipah
Tipe Kapal	Product Oil Tanker
Flag	Indonesia
Port of Registry	Jakarta
Call Sign	JZYW
Nomor IMO	9509918
Class	Dual class (DNV & BKI)
Deadweight	29760.2 Ton
Tahun Pembangunan	2013
LOA	180 m
LPP	173 m
Breadth	30.5 m
Depth	15.9 m
Draft	9 m
Main Engine	MAN B&W 6S42MC7 8816 Bhp
Kecepatan Dinas	14 knot



Gambar 4. 1 MT. Senipah

Sedangkan untuk memodifikasi sistem bahan bakar konvensional agar menjadi *dual fuel system* mengacu pada *project Tarbit* yang menkonversi kapal tanker Bit Viking. Adapun data dari kapal Bit Viking sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Data Utama Bit Viking

Data Utama Kapal	
Nama Kapal	Bit Viking
Tipe Kapal	Chemical Tanker
Flag	Swedia
Class	GL
Deadweight	25000 Ton
Tahun Pembangunan	2007
LOA	177.02 m
LPP	166.99 m
Breadth	26 m
Draft	9.7 m
Main Engine	2 x Wartsila 6LW50DF 5700 kW
Kecepatan Dinas	16 knot



Gambar 4. 2 MT. Bit Viking

4.1.2 *Layout Dual Fuel System MT. Senipah*

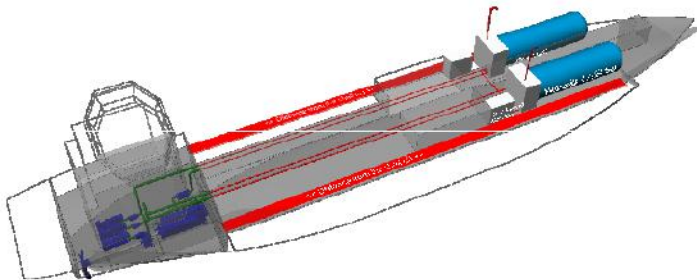
Layout dual fuel system merupakan gambaran peletakan komponen *dual fuel system*. Peletakan komponen menjadi penting ketika berhubungan dengan risiko. *Layout dual fuel system* untuk mengetahui dimana letak bahaya yang ditimbulkan jika suatu komponen terjadi kegagalan. Dampak apa saja yang disebabkan oleh komponen gagal terhadap lingkungan, kargo, dan korban jiwa.

Untuk memperoleh gambaran *layout dual fuel system* kapal tanker PT. Pertamina (Persero) Perkapalan maka dibuatlah *layout* sederhana menggunakan kapal MT. Senipah. *Layout* dibuat dikarenakan kapal MT. Senipah belum menggunakan *dual fuel system*. Dalam perencanaan *layout dual fuel system* kajian detail teknis mengenai perhitungan kebutuhan LNG, skenario penggunaan LNG, dan konversi motor induk diabaikan. Peletakan komponen mengacu dan mengadopsi *layout* dari kapal tanker Bit Viking yang telah menggunakan *dual fuel system* serta menggunakan regulasi dari draft IGF Code.

IGF Code mengatur tentang peletakan tangki bahan bakar LNG serta komponen-komponen pendukungnya. Perancangan *layout dual fuel system* tangki akan diletakan di atas kargo *open deck*. IGF Code menyebutkan bahwa:

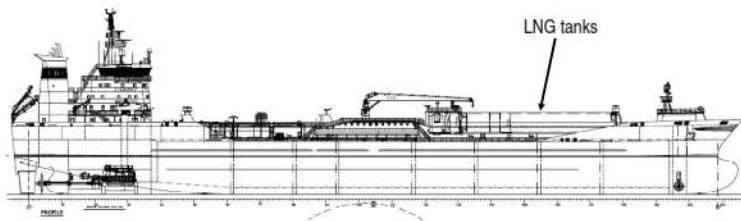
- Tangki penyimpanan bahan bakar dan peralatan yang terletak di *open deck* harus ditempatkan untuk memastikan mendapatkan ventilasi alami yang cukup, sehingga mencegah gas yang terakumulasi untuk *release*.
- Tangki penyimpanan bahan bakar jika berada di ruang tertutup harus dilindungi dari kerusakan eksternal yang disebabkan oleh benturan atau landasan dengan cara berikut:

- Tangki penyimpanan bahan bakar harus ditempatkan sedekat mungkin dengan garis tengah kapal:
1. Minimum, yang lebih rendah dari $B/5$ dan 11,5 m dari sisi kapal pada sudut kanan garis tengah pada tingkat garis beban musim panas.
 2. Minimum, lebih rendah dari $B/15$ dan 2 m dari garis dibentuk dari *shell plating* bawah pada *centerline*.
 3. Tidak kurang dari 760 mm dari *shell plating*. (IGF Code, 2013)

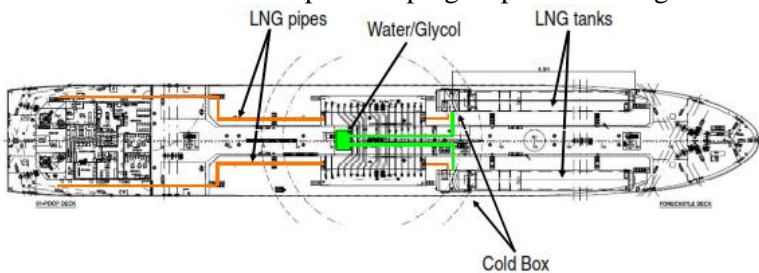


Gambar 4. 3 Contoh Layout Tangki LNG

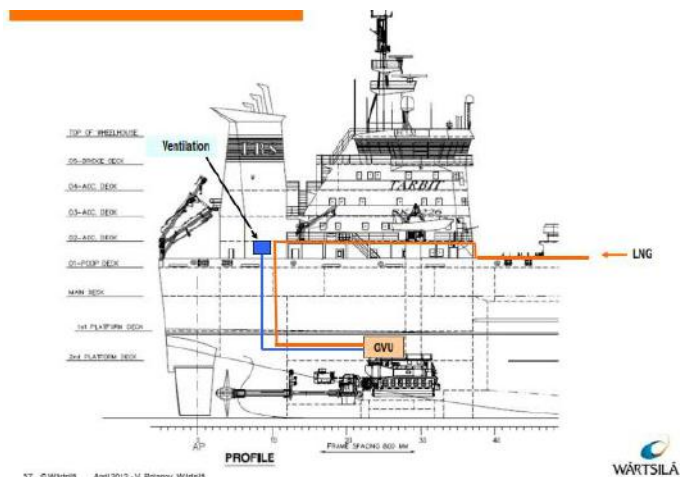
Gambar diatas merupakan contoh peletakan tangki LNG di *open deck* pada kapal tanker yang dikaji dan direncanakan oleh Wartsila beserta DNV untuk kapal Bit Viking. Sedangkan untuk peletakan komponen lain mengacu pada tampilan *layout* yang dibuat oleh Wartsila dan DNV untuk kapal tanker Bit Viking. (Hagblom J, 2013)



Gambar 4. 4 Tampak Samping Kapal Bit Viking

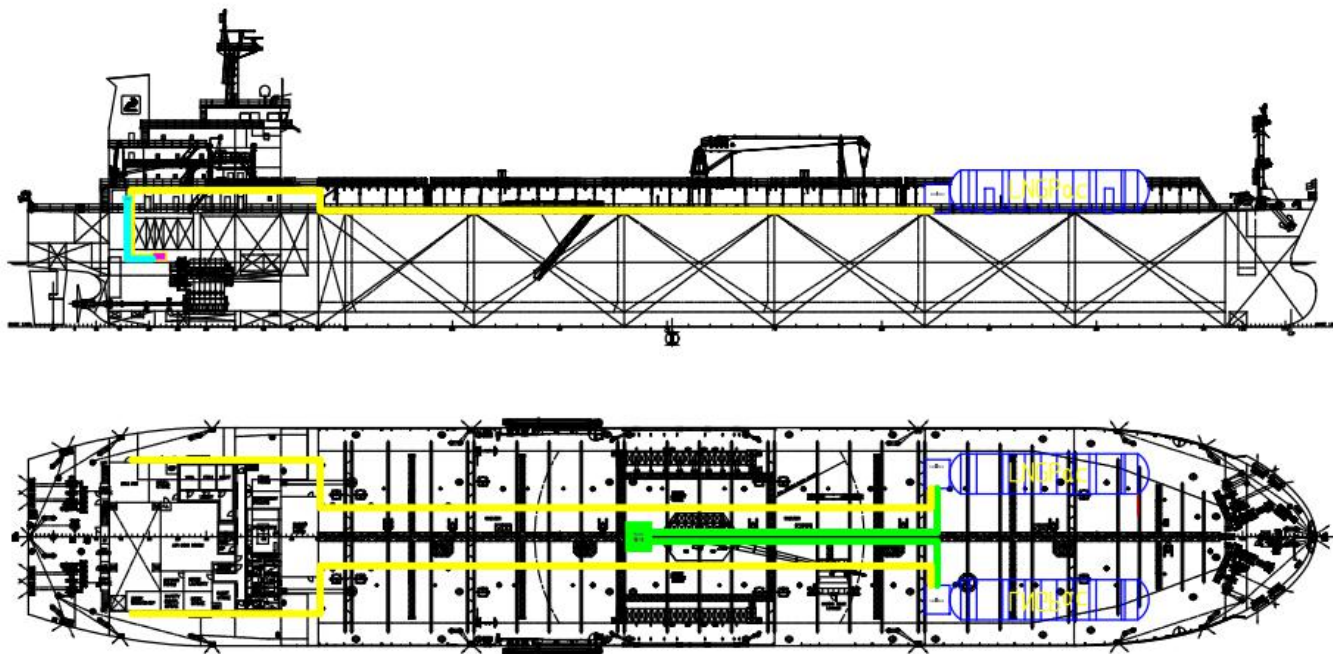


Gambar 4. 5 Tampak Atas Kapal Bit Viking



Gambar 4. 6 Gambaran Peletakan GUV Pada Kapal Bit Viking

Perencanaan *layout* pada kapal MT. Senipah milik PT. Pertamina (Persero) Perkapalan mengacu pada konsep *dual fuel system* pada kapal Bit Viking dan IGF Code. MT. Senipah merupakan kapal yang memiliki dimensi yang hampir sama dengan kapal Bit Viking dan memiliki class DNV yang sama juga sehingga kapal tanker MT. Senipah menjadi pilihan untuk dijadikan sebagai studi kasus penilaian risiko penggunaan *dual fuel system* pada kapal tanker. Sehingga *layout dari dual fuel system* MT. Senipah menjadi seperti berikut:



Gambar 4. 8 *Dual Fuel System Layout*

Gambar 4.8 merupakan perencanaan *layout dual fuel system* MT. Senipah. Untuk penilaian risiko dibutuhkan P&ID dari *dual fuel system* yang akan dibahas pada subbab selanjutnya.

4.1.3 **P&ID Dual Fuel System MT. Senipah**

P&ID merupakan gambaran detail informasi mengenai peralatan proses *instrument* yang terpasang pada suatu *plant* untuk mengetahui bagaimana proses suatu sistem berjalan dan komponen apa saja yang terpasang dalam suatu sistem. P&ID *dual fuel system* digunakan untuk mengetahui bagaimana *dual fuel system* bekerja dan risiko apa saja yang akan ditimbulkan jika suatu sistem atau komponen dalam *dual fuel* gagal. Untuk mendapatkan data P&ID pada *dual fuel system* MT. Senipah harus dibuat terlebih dahulu karena belum adanya P&ID *dual fuel system* pada kapal ini.

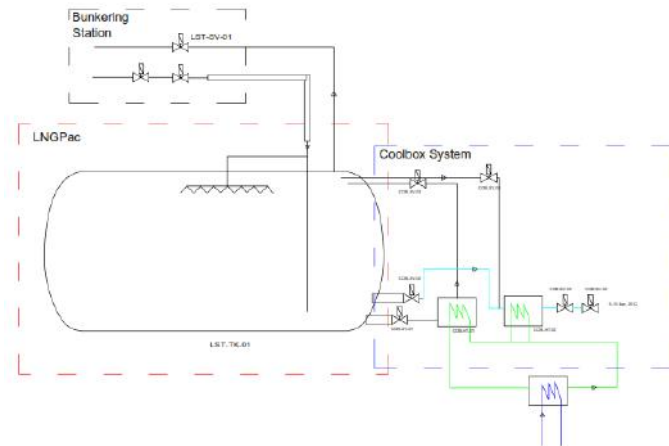
Pembuatan P&ID untuk *dual fuel system* kapal MT. Senipah mengacu pada Project Tarbit Wartsila dan DNV untuk kapal Bit Viking. P&ID *dual fuel system* Bit Viking dimodifikasi sehingga dapat diterapkan pada kapal MT. Senipah. Modifikasi dilakukan karena adanya perbedaan karakteristik dari motor induk yang terpasang di kedua kapal. Kapal Bit Viking memiliki spesifikasi *main engine* Wartsila dengan putaran menengah sedangkan pada kapal MT. Senipah terpasang *main engine* MAN B&W dengan putaran rendah. Dimana motor dengan putaran menengah tekanan gas yang dibutuhkan *main engine* sekitar 5 bar. Sedangkan untuk motor dengan putaran rendah tekanan gas yang masuk ke *main engine* sekitar 16 bar. Sehingga dibutuhkan beberapa komponen agar *dual fuel system* dapat beroperasi. (Wettstein, 2013)

P&ID *Dual fuel system* akan menggunakan:

1. Sistem LNG *tank* beserta *coolbox* yang menggunakan LNGPac produk dari Wartsila.

2. Sistem GUV menuju *main engine* menggunakan konsep GUV milik Wartsila.

P&ID *dual fuel system* pada LNG *tank* beserta proses regasifikasi menggunakan sistem dari LNGPac produk dari Wartsila. Penggunaan LNGPac berdasarkan kapal acuan yang digunakan juga memasang LNGPac yaitu kapal tanker Bit Viking. Dalam perencanaan P&ID sistem LNG *tank* dan *coolbox* ada penambahan komponen berupa kompresor yang berfungsi untuk menaikkan tekanan bahan bakar LNG dari *main gas evaporator* (MGE). Tekanan LNG dinaikkan karena kapal MT. Senipah menggunakan motor induk putaran rendah, gas yang masuk pada *main engine* dibutuhkan tekanan sebesar 16 bar dengan temperatur maksimum 60°C berbeda dengan keluaran dari MGE yang hanya memiliki tekanan maksimal 10 bar dengan temperatur 25°C. Hal ini berdasarkan pada publikasi dari Rudolf Wettstein pada AJOUR Conference tentang “*The Wartsila Low-speed, Low-Pressure dual Fuel System*”. Sehingga P&ID menjadi sebagai berikut:



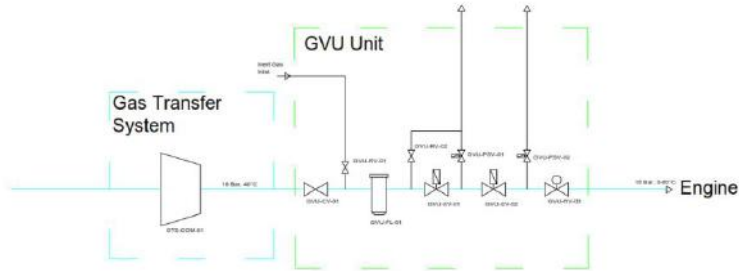
Gambar 4. 9 LNGPac P&ID

Adapun komponen-komponen yang ada pada LNGPac yaitu:

- a. LST-TK-01 : tangki LNG
- b. LST-SV-01 : *Venting valve*
- c. COB-SV-01 : *pressure control valve to PBE*
- d. COB-SV-02 : *pressure control valve to MGE*
- e. COB-SV-03 : *Control valve LNG Vapourized to LNG Tank*
- f. COB-SV-04 : *Control Valve LNG Vapourized to MGE*
- g. COB-SV-05 : *master gas valve*
- h. COB-SV-06 : *master gas valve*
- i. COB-HT-01 : *pressure builtup evaporator*
- j. COB-HT-02 : *main gas evaporator*

P&ID yang akan direncanakan kemudian adalah *dual fuel system* dari *gas valve unit* (GVU) menuju *main engine*. Berdasarkan dari *safety concept* yang dipublikasikan oleh Wartsila, P&ID GVU menuju *main engine* dapat direncanakan. Referensi dari Wartsila digunakan karena instalasi LNGpac sama-sama menggunakan Wartsila. GVU yang digunakan oleh kapal Bit Viking juga menggunakan produk Wartsila. Sehingga

memudahkan dalam perencanaan *dual fuel system*. Berikut ini gambar dibawah adalah P&ID GUV menuju *main engine*:



Gambar 4. 10 GUV to *Engine* P&ID

Adapun komponen yang terdapat pada P&ID GUV menuju *main engine* adalah sebagai berikut:

- a. GTS-COM-01 : *Compressor*
- b. GVU-CV-01 : *Control valve gas*
- c. GVU-RV-01 : *Regulate valve inert gas*
- d. GVU-RV-02 : *Regulate venting valve*
- e. GVU-FL-01 : *Filter gas LNG*
- f. GVU-SV-01 : *Shutoff Valve*
- g. GVU-SV-02 : *Shutoff Valve*
- h. GVU-PSV-01 : *Pressure relief valve*
- i. GVU-PSV-02 : *Pressure relief valve*
- j. GVU-RV-03 : *Regulate valve*

P&ID pada gambar nantinya akan dianalisis bahaya yang mungkin muncul menggunakan *FMEA method hazard identification*.

4.2 Deskripsi Sistem

Dual fuel system adalah sebuah sistem bahan bakar yang menggunakan dua jenis bahan bakar berbeda. Hal ini dilakukan

oleh beberapa pabrikan untuk membuat suatu motor induk lebih irit konsumsi bahan bakar dan mengurangi emisi gas buang.

Saat ini sedang gencarnya pabrikan-pabrikan memperkenalkan *dual fuel system* pada teknologi motor induknya. LNG-Fuel Oil adalah salah satu contoh sistem bahan bakar ganda dimana bahan bakar yang digunakan gas dan *fuel oil*.

Sama hal nya dengan industri perkapalan sedang berusaha membuat emisi gas buang motor induk seminimal mungkin guna mendukung regulasi yang dikeluarkan oleh IMO Tier III. Dalam bab ini akan dijelaskan deskripsi dari *fuel system* yang akan dianalisis.

Dual fuel system didesain atau dibuat terlebih dahulu berdasarkan project tarbit untuk kapal Bit Viking. Konsep dari kapal Bit Viking diterapkan untuk MT. Senipah milik PT. Pertamina (Persero) Perkapalan karena MT. Senipah belum menerapkan *dual fuel system*.

Selain mengacu pada project tarbit desain dibuat berdasarkan Draft IGF Code. Sehingga *dual fuel system* yang didesain menjadi seperti gambar dibawah.

LNG disimpan didalam *double membrane tank* IMO Tank C dengan tekanan rendah dan temperatur rendah mencapai -161°C . Storage tank LNG menggunakan produk dari LNGpac yang sudah sepaket dengan *coolbox*. Tangki LNG ini memiliki tekanan kerja maksimum mencapai 20 bar. Sedangkan LNG didalam tangki dijaga dalam kondisi tekanan paling besar sebesar 5 bar di 134°C . LNG didistribusikan keluar dari tangki dengan menggunakan prinsip tekanan. LNG didistribusikan masuk ke dalam *pressure built evaporator* kemudian LNG dipanaskan hingga 134°C sehingga tekanannya naik sebesar 5 bar, kemudian LNG tersebut akan dimasukkan kembali ke dalam tangki. Sehingga LNG yang berada di bawah tangki mendapat tekanan dari LNG dengan tekanan yang lebih besar. LNG dapat keluar karena tekanan tersebut yang kemudian LNG didistribusikan menuju *main gas evaporator* untuk dirubah fase nya menjadi gas.

Dalam *main gas evaporator* LNG dipanaskan hingga 0°C untuk merubah fasenya menjadi gas. Dari *main gas evaporator* memiliki output gas dengan temperatur 0°C dengan tekanan 5-10 bar. Keluaran sistem 5-10 bar hanya berlaku untuk motor induk dengan *medium speed* seperti motor induk yang dimiliki Bit Viking. Sedangkan pada kapal MT. Senipah motor induk yang digunakan motor induk *low speed*. Secara teknis dari motor induk *dual fuel system* memiliki spesifikasi input gas LNG sebesar 16 bar sesuai dengan Rudolf Wettstein pada AJOUR Conference tentang “*The Wartsila Low-speed, Low-Pressure dual Fuel System*”. Sehingga dibutuhkan alat tambahan berupa kompresor untuk mendapatkan tekanan yang sesuai dengan yang diminta motor induk.

Step selanjutnya gas distribusi masuk kedalam motor induk menggunakan GUV. GUV berfungsi sebagai sistem control gas sesuai dengan yang dibutuhkan oleh motor induk.

4.3 Penilaian Risiko

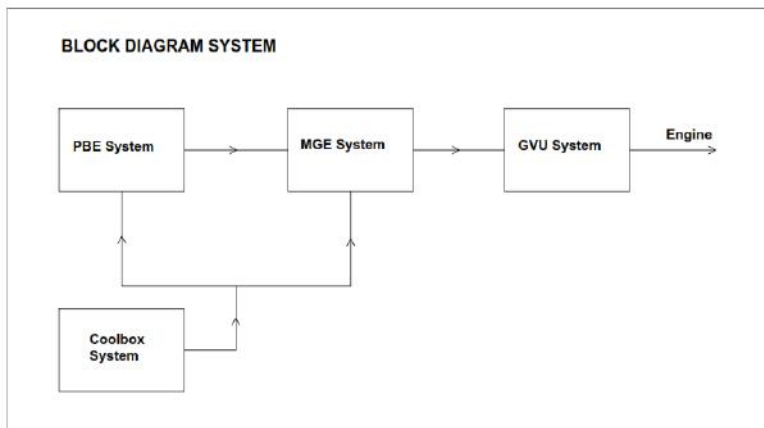
Setelah dibuat modifikasi P&ID maka penilaian risiko dapat dilakukan. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah dengan cara menentukan bahaya atau biasa yang dikenal dengan sebutan identifikasi bahaya (*hazard identification*). Metode yang digunakan adalah menggunakan *failure mode effects analysis* (FMEA). Setelah selesai mengidentifikasi bahaya maka akan dihitung frekuensi kejadian dalam bahaya yang ditimbulkan. Penggunaan FTA dan ETA bertujuan untuk menghitung nilai frekuensi dari bahaya yang ditimbulkan. Kemudian konsekuensi akan menggunakan simulasi software ALOHA. Setelah ditentukan nilai frekuensi dan konsekuensi maka akan dilakukan *risk assessment*, apakah risiko dapat diterima atau tidak. *Risk criteria* yang digunakan untuk merepresentasikan sistem menggunakan *F-N Curve* ACDS.

4.3.1 Identifikasi bahaya (*Hazard Identification*)

Identifikasi bahaya menggunakan metode *failure mode effects analysis* (FMEA) yang kemudian dikembangkan menjadi FMECA. FMEA digunakan dengan pertimbangan semua efek kegagalan dari masing-masing komponen jika terjadi kegagalan dapat diketahui. Pertama yang dilakukan adalah membagi P&ID *dual fuel system* menjadi empat sistem besar dan merubahnya menjadi block diagram agar mempermudah dalam menganalisis bahaya dan kegagalan dari sistem yang disebabkan masing-masing komponen didalam sistem.

Dalam teknis nya dibagi empat sistem yaitu: *Pressure BuiltUp Evaporator* (PBE) *system*, *Main Gas Evaporator* (MGE) *system*, *Coolbox system* dan *Gas Valve Unit* (GVU) *system*. Masing-masing sistem memiliki komponen yang akan dianalisis keagalannya.

Tahapan identifikasi risiko menggunakan metode FMEA adalah mencari standar yang mengatur penggunaan FMEA atau referensi jurnal yang dapat dijadikan acuan, jika jurnal tersebut dapat atau sesuai diterapkan dalam *dual fuel system*. Pada tugas akhir ini mengacu pada jurnal “*Risk-Based Preventive Maintenance Planning using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for Marine Engine Systems*” dan *Indian Bureau Standart*. Sebelum menganalisis menggunakan FMEA dibuatlah blok diagram untuk mendeskripsikan jalannya sistem dan gagalanya sistem.



Gambar 4. 12 Blok diagram *dual fuel system*

Setelah dibuat blok diagram maka dilakukan identifikasi bagaimana sistem tersebut berjalan. *Coolbox system* adalah sistem yang berfungsi sebagai media pemanas LNG. Di dalam coolbox sistem terdapat 2 pompa yang dipasang secara parallel seperti yang ditunjukkan pada *P&ID dual fuel system* diatas. *Coolbox system* akan gagal jika kedua pompa tidak dapat beroperasi secara bersamaan.

PBE system adalah sistem yang berfungsi untuk menjaga tekanan yang ada di dalam tangki LNG, sehingga LNG dapat

didistribusikan ke sistem selanjutnya. Sistem ini akan gagal jika *coolbox system* tidak beroperasi sebagaimana mestinya. Komponen di dalam *PBE system* juga berpotensi menyebabkan *PBE system* gagal. Detail jenis kegagalan pada *PBE system* akan diperinci pada *FMEA worksheet*.

MGE System merupakan sistem yang berfungsi sebagai media regasifikasi LNG. Dimana sistem ini merubah LNG menjadi fase gas. MGE sistem ini akan gagal jika *PBE system* atau *coolbox system* gagal beroperasi. Komponen di dalam *MGE system* juga berpotensi menyebabkan sistem gagal. Identifikasi kegagalan masing-masing komponen akan dijabarkan pada tabel FMEA.

GVU System merupakan sistem yang berfungsi untuk mendistribusikan LNG *fuel* menuju motor induk. Sistem ini tersusun dari beberapa komponen yang berupa *valve*. *GVU system* akan gagal jika *PBE system*, *MGE System*, atau *Coolbox system* gagal beroperasi.

Langkah selanjutnya mencari *failure mode* dari masing-masing sistem yang mengacu pada kegagalan komponen. Jenis kegagalan komponen menggunakan OREDA 2002. Didalam OREDA 2002 memuat *failure mode* dan *failure rate* komponen.

Menganalisis bahaya apa saja yang disebabkan jika suatu komponen gagal didalam *dual fuel system*. Setelah semuanya diidentifikasi maka langkah selanjutnya melakukan perhitungan untuk mengetahui tingkat bahaya menggunakan RPN. RPN adalah hasil perkalian antara *severity index*, *probability index*, dan *detection index*. Dari masing-masing index memiliki level penilaian 1-10.

$$RPN = S \times O \times D \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana:

S : *Severity Index*
 O : *Probability Index*
 D : *Detection Index*

Severity index adalah tingkat keparahan yang ditimbulkan dari bahaya yang muncul. Berikut level penilaian *severity index* ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 4. 3 *Severity Index (Indian Standart, 2006)*

Effect	SEVERITY of Effect	Ranking
Hazardous without warning	System failure resulting in hazardous effects almost certain	10
Hazardous with warning	System failure resulting in hazardous effects highly probable	9
Very High	System inoperable but safe	8
High	System performance severely affected	7
Moderate	System operable and safe but performance degraded	6
Low	Reduced performance with gradual performance degradation	5
Very Low	Minor effect on system performance	4
Minor	Slight effect on system performance, Non-vital faults will be noticed most of the time	3
Very Minor	Negligible effect on system performance	2
None	No effect	1

Probability index adalah level dari kemungkinan kejadian yang menyebabkan kegagalan komponen. Untuk nilai *probability index* harus dihitung terlebih dahulu. Karena penggunaan OREDA 2002 hanya sebatas informasi *failure rate* komponen bukan *failure probability*. Adapun rumus untuk menghitung probabilitas kegagalan seperti dibawah ini.

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda t} \dots\dots\dots (4.2)$$

Dimana:

P(t) : Probabilitas kegagalan

e : Logaritma natural, e = 2,7183

λ : Laju kegagalan (OREDA 2002)

t : Waktu operasi (diasumsikan 1 tahun atau 8760 jam)

Tabel 4. 4 *Probability Index (Indian Standart, 2006)*

PROBABILITY of Failure	Failure Prob	Ranking
Very High: Failure is almost inevitable	>1 in 2	10
	1 in 3	9
High: Repeated failures	1 in 8	8
	1 in 20	7
Moderate: Occasional failures	1 in 80	6
	1 in 400	5
	1 in 2,000	4
Low: Relatively few failures	1 in 15,000	3
	1 in 150,000	2
Remote: Failure is unlikely	<1 in 1,500,000	1

Tabel perhitungan nilai probabilitas kegagalan pada *dual fuel system* menggunakan data dari OREDA 2002 dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4. 5 *Detection Index (Indian Standart, 2006)*

Detection	Likelihood of DETECTION by Design Control	Ranking
Absolute Impossible	Control will not and/or cannot detect a potential cause and subsequent failure mode	10
Very Remote	Very remote change the controls will detect a potential cause and subsequent failure mode	9
Remote	Remote change the controls will detect a potential cause and subsequent failure mode	8
Very Low	Very low change the controls will detect a potential cause and subsequent failure mode	7
Low	Low change the controls will detect a potential cause and subsequent failure mode	6
Moderate	Moderate change the controls will detect a potential cause and subsequent failure mode	5

Lanjutan tabel 4.5 dari halaman sebelumnya

Moderately High	Moderately High change the controls will detect a potential cause and subsequent failure mode	4
High	High change the controls will detect a potential cause and subsequent failure mode	3
Very High	Very high change the controls will detect a potential cause and subsequent failure mode	2
Almost Certain	Controls will almost certainly detect a potential cause and subsequent failure mode	1

Detection index adalah level dari deteksi penyebab kegagalan komponen. Berikut tabel *detection index*.

Identifikasi bahaya menggunakan metode FMEA dan perhitungan probabilitas kegagalan akan ditampilkan pada lampiran.

4.3.2 Analisis Frekuensi

Dalam penilaian risiko setelah melakukan identifikasi bahaya adalah menghitung frekuensi dari bahaya yang akan ditimbulkan. Perhitungan frekuensi pada tugas akhir ini menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Event Tree Analysis* (ETA).

4.3.2.1 Fault Tree Analysis (FTA)

Menentukan *Top event* dari hasil identifikasi bahaya yang dilakukan sebelumnya. Dari bahaya yang dijadikan *top event* maka yang memungkinkan terjadinya bahaya terhadap operator dan menimbulkan korban jiwa adalah *gas release*. Keluarnya gas dari sistem dapat menimbulkan terjadi bahaya BLEVE, *jet fire*, *flash fire*, dan *gas dispersion*.

Dari identifikasi bahaya semua komponen didalam sistem dapat menyebabkan terjadinya *gas release*. Kemudian untuk menghitung frekuensi dibutuhkan data frekuensi kebocoran gas.

Data tersebut biasanya disebut dengan *leak frequency*. *OGP Risk Assessment Data Directory 2010* tentang *process release frequencies*.

Tabel 4. 6 Release Frequency of PBE System

Nomor	Name of Component	Scenario	Leak Frequency
1	LST-TK-01	Primary Containment Only	0.0000001
		Secondary Containment	0.000000025
		Total	0.00000012
2	LST-PSV-01	1 to 3 mm	0.00036
		3 to 10 mm	0.00014
		10 to 50 mm	0.000066
		50 to 150 mm	0.000033
3	COB-SV-01	1 to 3 mm	0.00036
		3 to 10 mm	0.00014
		10 to 50 mm	0.000066
		50 to 150 mm	0.000033
4	COB-HT-01	1 to 3 mm	0.00200
		3 to 10 mm	0.00088
		10 to 50 mm	0.00040
		> 50 mm	0.00020
5	COB-SV-03	1 to 3 mm	0.00036
		3 to 10 mm	0.00014
		10 to 50 mm	0.000066
		50 to 150 mm	0.000033
6	Pipe A	1 to 3 mm	0.000041
		3 to 10 mm	0.000017
		10 to 50 mm	0.0000074
		50 to 150 mm	0.0000076

Lanjutan tabel 4.6 dari halaman sebelumnya

7	Pipe B	1 to 3 mm	0.000041
		3 to 10 mm	0.000017
		10 to 50 mm	0.0000074
		50 to 150 mm	0.0000076
8	Pipe C	1 to 3 mm	0.000041
		3 to 10 mm	0.000017
		10 to 50 mm	0.0000074
		50 to 150 mm	0.0000076

Tabel diatas menunjukkan angka frekuensi *gas release* pada komponen-komponen yang ada pada *PBE system*. Tabel lengkap data *gas release frequency* ada pada tabel di lampiran.

Dari bahaya yang ditimbulkan diturunkan hingga menjadi sebuah *basic event*. *Basic event* pada FTA adalah kejadian yang sudah tidak dapat dianalisis penyebabnya. Dalam FTA ini *gas release* dijadikan sebagai *top event*. Penyebab *gas release* diidentifikasi dari kegagalan komponen.

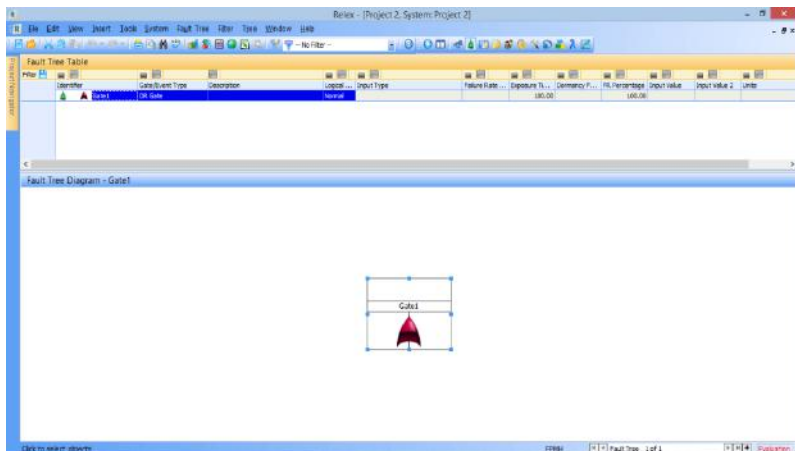
Perhitungan frekuensi menggunakan Relex 2009. Langkah-langkah melakukan simulasi perhitungan frekuensi menggunakan relex 2009 sebagai berikut:

1. Buka Relex 2009 *software* kemudian akan muncul pilihan modul yang akan disimulasikan. Untuk kasus ini menggunakan modul FTA (*Fault tree Analysis*) kemudian klik OK.



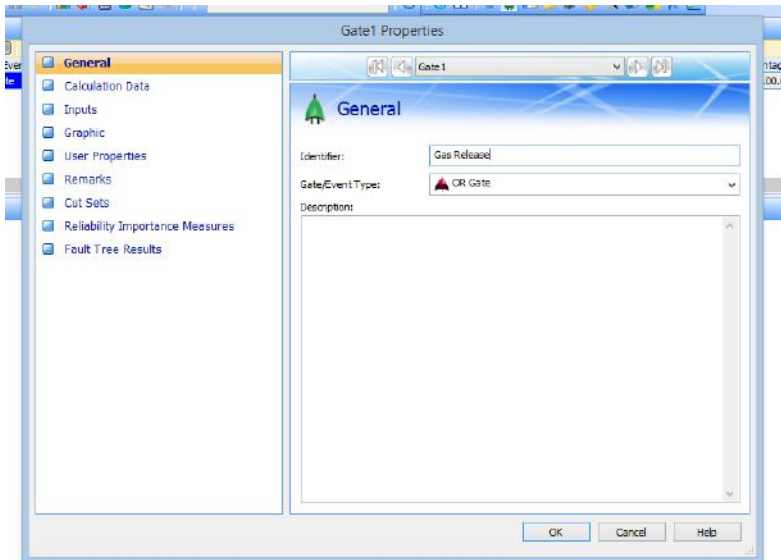
Gambar 4. 13 Halaman Awal Relex 2009

2. Klik pilihan pada *toolbar* yang terletak dikiri atas, klik *file* -> pilih *New* -> klik *Project*, ketik judul *project* yang akan dibuat.
3. Pada layar akan muncul dua *layer* atau dua *worksheet* pekerjaan yaitu *fault tree tables* dan *fault tree diagram*.

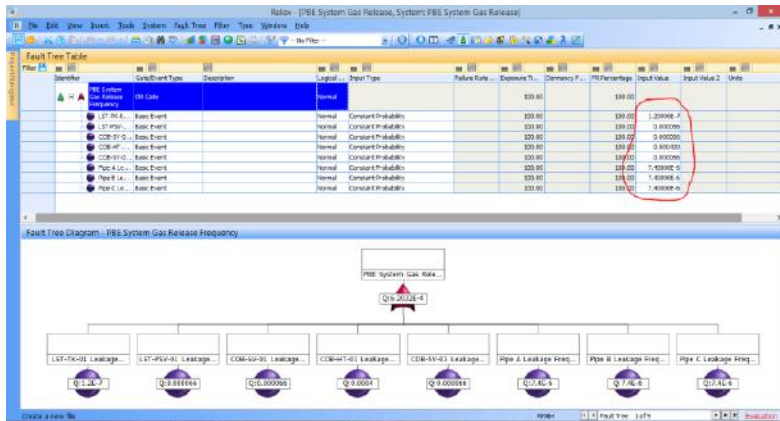


Gambar 4. 14 Worksheet Relex 2009 Software

4. Gambar diagram sesuai sistem dan bagaimana prosesnya sehingga terjadi *Top event*. Pada contoh ini yang akan disimulasikan FTA dari PBE system pada *dual fuel system*.
5. *Top Event* dari kebocoran pada PBE system adalah *gas release*, sebab terjadi nya *gas release* pada PBE system disebabkan dari adanya kebocoran pada masing-masing komponen. Jika salah satu komponen yang ada pada PBE system mengalami kebocoran maka *gas release* dapat terjadi sehingga hubungan masing-masing komponen adalah OR.
6. *Double* klik pada *gate 1* yang ada pada *worksheet* diagram untuk mengganti nama *gate 1* menjadi *gas release*. Pilih *gate* yang menghubungkan masing-masing *events*, pada kasus ini OR *gate* kemudian klik OK.

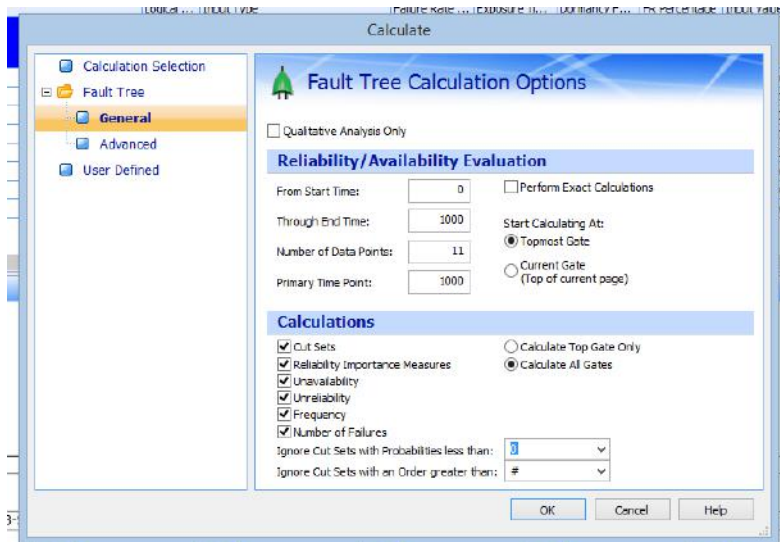


Gambar 4. 15 Mengedit Nama *Top Event* dan *Gate*



Gambar 4. 17 Input Nilai *Leakage Frequency* Komponen

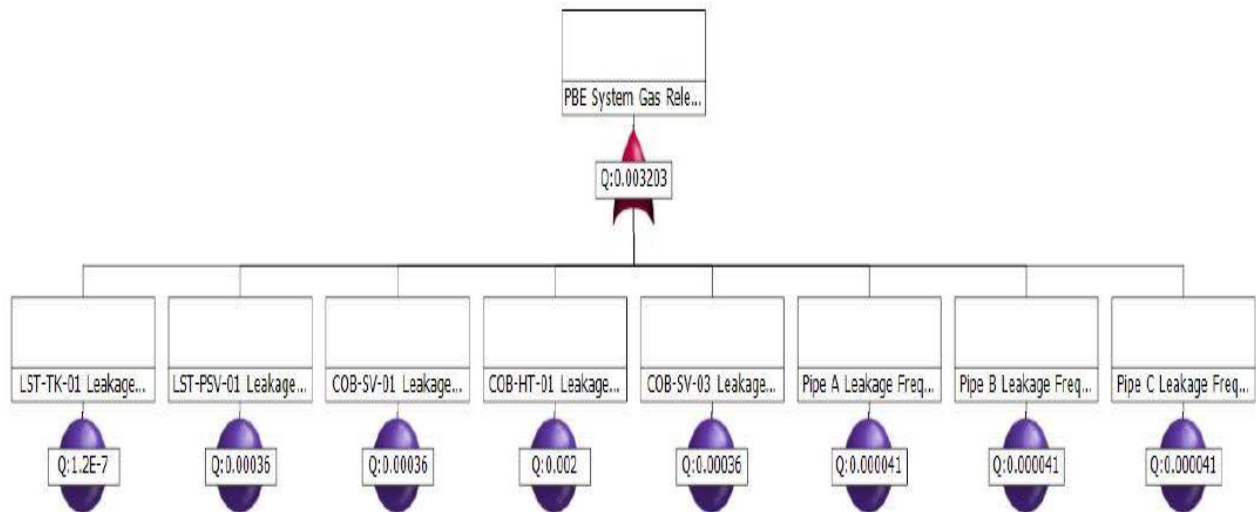
10. Setelah nilai sudah dimasukkan klik *system* pada *toolbar* dan klik *calculate* dapat juga langsung mengklik gambar kalkulator yang ada pada *toolbar* atau langsung menekan tombol F8.
11. Tandai FTA pada modul kalkulasi, klik folder *fault tree* di bagian kanan dan pilih *general*.
12. Tandai semua *calculations* dan pilih *all gates* kemudian klik OK.



Gambar 4. 18 FTA Calculations Relx 2009

13. Maka nilai *frequency gas release* sudah ditemukan.

Setelah melakukan simulasi perhitungan FTA menggunakan Relx 2009 didapatkan hasil *gas realese frequency* PBE System dan pemodelan diagram FTA PBE system seperti ditunjukkan pada gambar 4.19.



Gambar 4. 19 FTA Gas Release untuk PBE System

Gambar 4.19 menunjukkan FTA dari *gas release* pada PBE system yang disebabkan adanya komponen dalam PBE system yang mengalami kebocoran. Hubungan masing-masing komponen dengan *top event gas release* adalah OR. Dimana salah satu komponen bocor maka gas akan *release* keluar dari sistem.

Dengan melakukan perhitungan menggunakan Relex 2009 didapatkan hasil sesuai tabel berikut.

Tabel 4. 7 Frekuensi *Gas Release PBE System*

1	PBE System Gas Release			
	Small (1-3 mm)	Medium (3-10 mm)	Large (10-50 mm)	Very Large(50-150 mm)
	0.003203	0.001351	0.00062032	0.00032192

Tabel 4. 8 Frekuensi *Gas Release MGE System*

2	MGE System Gas Release			
	Small (1-3 mm)	Medium (3-10 mm)	Large (10-50 mm)	Very Large(50-150 mm)
	0.00356300	0.00149100	0.00068620	0.00035480

Tabel 4. 9 Frekuensi *Gas Release Gvu System*

3	Compressor Gas Release			
	Small (1-3 mm)	Medium (3-10 mm)	Large (10-50 mm)	Very Large(50-150 mm)
	0.01073900	0.00441900	0.00191200	0.00076560

Analisis menggunakan FTA hanya sampai tahap dimana hanya *gas release* terjadi. Untuk mengetahui risiko adanya *jet fire*, *flash fire*, *gas dispersion* harus dilakukan analisis frekuensi menggunakan metode ETA.

4.3.2.2 Event Tree Analysis (ETA)

Analisis ETA menjabarkan proses dimana adanya *gas release* yang dapat menyebabkan terjadinya *jet fire*, *flash fire*, dan

gas dispersion akibat adanya *ignition*. Data yang dibutuhkan adalah mengetahui nilai dari probabilitas dari *ignition*. Probabilitas *ignition* dapat diketahui dengan cara menghitung *flow release* kemudian memetakan *flow release* kedalam tabel probabilitas *ignition* yang ada pada *OGP Risk Assessment Data Directory 2010* tentang *ignition probability*.

Untuk menghitung *flow release* menggunakan rumus dari UK-HSE untuk perhitungan *flow release* untuk *low pressure gas*. Adapun rumusnya sebagai berikut:

$$m = Cd \cdot \rho \cdot area \sqrt{2 \cdot \frac{P1-P}{\rho}} + g \cdot h \dots \dots \dots (4.3)$$

Dimana:

- m : Masa yang terbuang (kg/s)
- Cd : Koefisien yang dibuang (nilainya 0.6 untuk zat cair dan 0.6 untuk zat gas)
- ρ : Masa jenis zat cair (kg/m^3)
- Area : Luas lubang kebocoran (m^2)
- P1 : tekanan absolut penyimpanan zat (Pa)
- P : tekanan ambient (Pa)
- g : Percepatan gravitasi (m/s^2)
- h : head statis (m)

Dari rumus diatas akan ditemukan nilai dari *flow release* gas dari masing-masing komponen dengan luasan lubang tertentu. Untuk contoh akan dihitung nilai dari *flow release PBE system* dengan lubang berdiameter 1-3 mm.

$$\begin{aligned} m &= Cd \cdot \rho \cdot area \sqrt{2 \cdot \frac{P1-P}{\rho}} + g \cdot h \\ &= 0,8 \times 0,7 \times 0,000007065 \sqrt{2 \cdot \frac{500000-100000}{0,7}} + 9,8 \times 5 \\ &= 0,0042 \end{aligned}$$

Maka dapat ditentukan untuk *flow release* masing-masing sistem ditunjukkan pada tabel hasil perhitungan *flow release* berikut.

Tabel 4. 10 *Flow Release dan Ignition Probability PBE System*

PBE System Gas Release	Small	Medium	Large	Very Large	Scenario 19 on OGP Ignition Probabilities
Hole Area (m ²)	0.0000	0.0001	0.0020	0.0177	
Flow release	0.0042	0.0470	1.1749	10.5742	
Ignition Probablity	0.0010	0.0010	0.0022	0.0168	

Tabel 4. 11 *Flow Release dan Ignition Probability MGE System*

MGE System Gas Release	Small	Medium	Large	Very Large	Scenario 19 on OGP Ignition Probabilities
Hole Area (m ²)	0.0000	0.0001	0.0020	0.0177	
Flow release	0.0063	0.0705	1.7623	15.8610	
Ignition Probablity	0.0010	0.0010	0.0022	0.1680	

Tabel 4. 12 *Flow Release dan Ignition Probability GVV System*

GVV System Gas Release	Small	Medium	Large	Very Large	Scenario 22 on OGP Ignition Probabilities
Hole Area (m ²)	0.0000	0.0001	0.0020	0.0177	
Flow release	0.0082	0.0910	2.2752	20.4764	
Ignition Probablity	0.0010	0.0010	0.0213	0.0350	

Dari hasil perhitungan *flow release* berdasarkan rumus dari UK-HSE akan diplot kan untuk menentukan nilai *ignition*

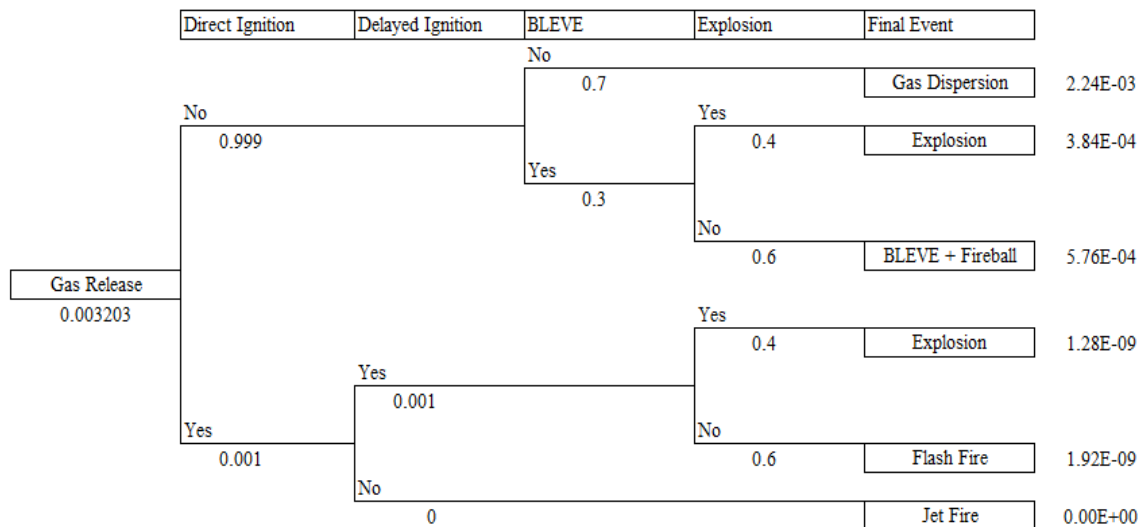
probability menggunakan OGP 2010 tentang *ignition probability*. Adapun tabel *ignition probability* seperti dibawah ini.

Tabel 4. 13 *Ignition Probability*

Release Rate (kg/s)	Ignition Probability
0.1	0.0010
0.2	0.0013
0.5	0.0019
1	0.0025
2	0.0074
5	0.0204
10	0.0339
20	0.0564
50	0.1107
100	0.1842
200	0.3065
500	0.6000

Hasil dari perhitungan diplotkan untuk menemukan nilai probabilitas *ignition*. Misalnya pada *flow gas release PBE system* pada kategori kebocoran *small* dengan nilai *flow release* 0.0042 maka nilai *ignition probability* nya 0.001.

Setelah ditemukan semua nilai *ignition probability* maka dibuat lah ETA untuk menentukan frekuensi bahaya yang disebabkan oleh *gas release*. Skema proses ETA untuk *gas release LNG* diperoleh dari paper “*A model for estimating the impact of the domino effect on accident frequencies in quantitative risk assessments of storage facilities*”.



PBE System Gas Release (Leakage Hole 1-3 mm)

Flow release 0.004230 kg/s

Ignition probability OGP 0.001

Gambar 4. 20 ETA untuk *PBE System* Kategori Small

Gambar 4.20 menunjukkan bagaimana skema *gas release* yang keluar dari sistem menjadi beberapa jenis bahaya atau *final effect* dari *gas release*. Nilai frekuensi *gas release* pada sistem PBE yang diskenarioikan memiliki lubang kebocoran 1-3 mm adalah sebesar 0.003203. Dari *gas release* faktor yang dapat menyebabkan gas terbakar adalah adanya sumber api maupun sulutan atau biasa disebut *ignition*. *Ignition* ada dua yaitu *direct ignition* dan *delayed ignition*. Jika setelah *gas release* terjadi *direct ignition* maka yang akan terjadi selanjutnya adalah bahaya *jet fire*. Akan tetapi jika *ignition* tidak langsung terjadi atau dengan kata lain *delayed ignition* maka yang terjadi adalah *flash fire* dapat juga berupa *explosion*. Ketika *gas release* terjadi dan tidak adanya *ignition final effect* yang dapat terjadi berupa BLEVE. BLEVE dapat terjadi ketika LNG berbentuk cair keluar dari sistem dan dalam sekejap berubah wujud menjadi gas.

Skema *Event Tree Analysis* pada tugas akhir ini mengacu pada paper “*A model for estimating the impact of the domino effect on accident frequencies in quantitative risk assessments of storage facilities*”. Maka dari hasil *Event Tree Analysis* untuk PBE system dengan scenario lubang kebocoran 1-3 mm ditunjukkan pada tabel 4.14 dibawah ini.

Tabel 4. 14 Nilai Frekuensi Bahaya Pada *PBE System*

Final Effect	Frequency
BLEVE + Fireball	0.00057596346
Explosion	0.00038397692
Flash Fire	0.00000000192
Jet Fire	0.00000000000
Gas Dispersion	0.00223985790

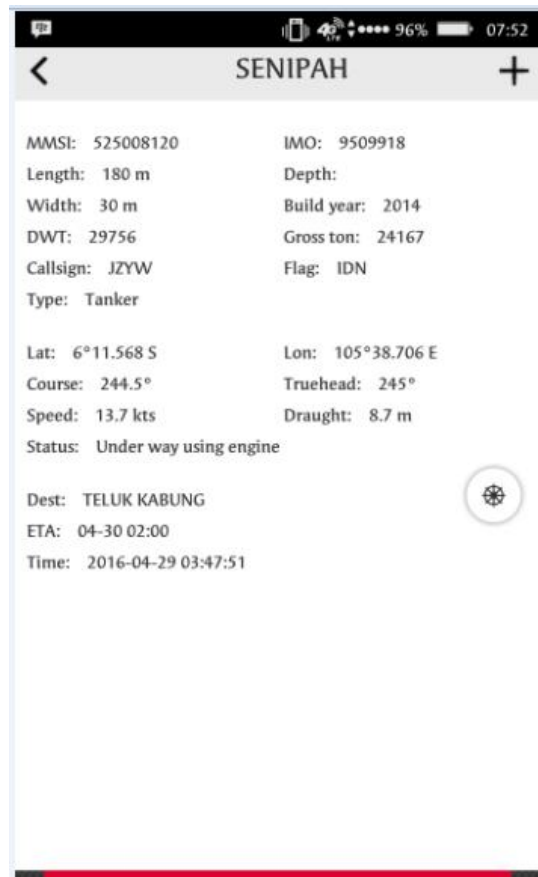
Tabel 4.14 diatas menunjukkan nilai frekuensi dari terjadi bahaya yang mungkin terjadi karena adanya kebocoran pada *PBE System*. Untuk *MGE System* dan *GVU System* akan ditampilkan pada lampiran.

4.3.3 Analisis Konsekuensi

Konsekuensi adalah dampak yang harus diterima jika sesuatu bahaya terjadi. Analisa konsekuensi pada tugas akhir ini menghitung berapa banyak orang atau ABK kapal yang terluka bahkan kehilangan nyawa jika *dual fuel system* mengalami kebocoran. Untuk menganalisa konsekuensi tingkat kematian pada tugas akhir ini menggunakan *fire modelling* dengan *software* ALOHA.

ALOHA adalah *software* simulasi berguna untuk memetakan dampak bahaya *explosion*, *fire*, dan gas beracun. Pada simulasi ini digunakan ALOHA 5.4.6. Simulasi menggunakan ALOHA membutuhkan beberapa data pendukung misalnya koordinat dari tempat instalasi, waktu, arah angin, kecepatan angina, jenis gas atau fluida yang akan disimulasikan, dan beberapa data pendukung lain.

Untuk melengkapi data yang diperlukan ALOHA maka adapun data dapat diperoleh dari internet dan lain-lain. Untuk mengetahui koordinat kapal MT. Senipah yang sedang beroperasi, pada tugas akhir ini menggunakan aplikasi yang ada didalam handphone berbasis android yaitu *FindShip*. Aplikasi *FindShip* ini dapat menunjukkan letak koordinat kapal dan mengetahui apakah kapal tersebut sedang *seagoing* atau dalam kondisi berlabuh.



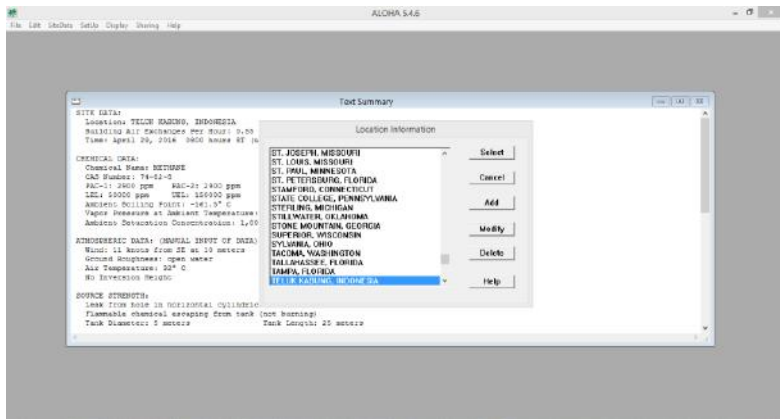
Gambar 4. 21 Aplikasi *FindShip*

Gambar 4.21 diatas adalah tampilan dari aplikasi *FindShip*. Data dari *FindShip* digunakan untuk memasukkan lokasi dan koordinat yang diminta pada software ALOHA.

Langkah-langkah untuk menggunakan ALOHA adalah sebagai berikut:

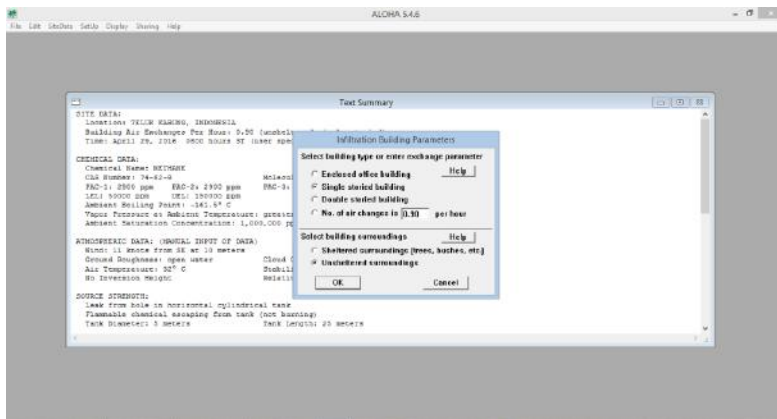
1. Buka ALOHA, kemudian buat *worksheet* baru dengan cara klik *file* pada *toolbar* yang terletak di kiri atas pilih *new*.

2. Klik *toolbar Sitedata* pilih *Location* atau dapat menekan tombol ctrl+L. Pilih lokasi jika ada pada ALOHA dan jika tidak ditemukan makan pilih *Add*. Masukkan data sesuai lokasi dan klik OK.
3. Kemudian pilih lokasi klik *Select*.

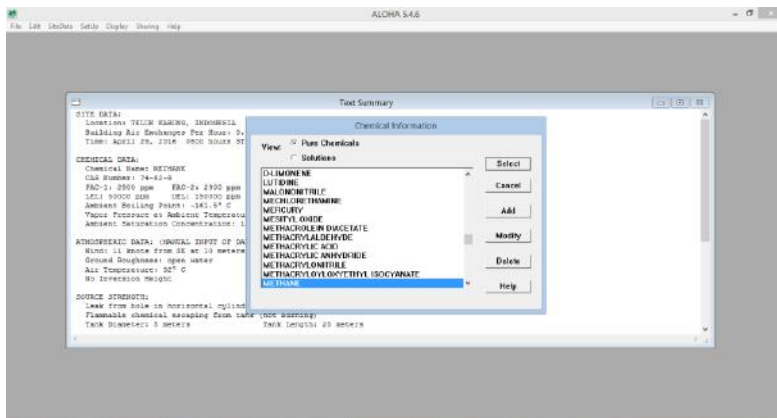


Gambar 4. 22 Input Location ALOHA

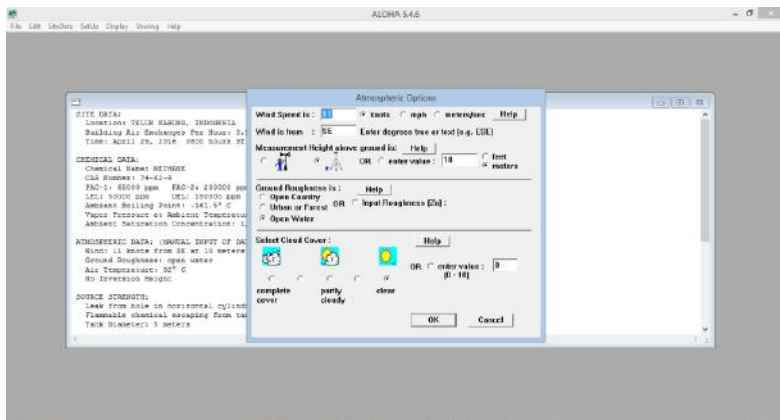
4. Pilih *SiteData* pada *toolbar* klik *Building Type*. Pilih bagaimana kondisi bangunan apakah bertingkat atau tertutup. Dalam kasus ini akan diberi contoh untuk konsekuensi PBE System. *Building type* menggunakan *single storied building*. Klik *Select*

Gambar 4. 23 *Input Building Type*

5. Langkah selanjutnya pilih toolbar *SetUp* klik *Chemical* atau menekan tombol *ctrl+H*. Dalam tugas akhir ini membahas tentang LNG yang berisi senyawa *methane*. Pilih jenis *chemical methane* kemudian klik *select*.

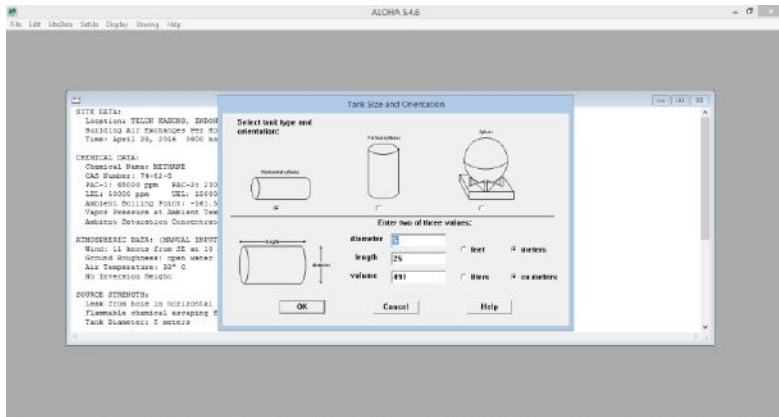
Gambar 4. 24 *Input Chemical Data*

6. Pilih *SetUp* -> Pilih *Atmospheric* -> Klik *User Input* atau menekan tombol Ctrl+A. Masukkan data kecepatan angin di lokasi yang telah dipilih diawal yaitu di Teluk Kabung dengan kecepatan angin 11 knots dengan arah angin menuju tenggara. Pilih kondisi *Open Water* dan cuaca cerah. Kemudian klik OK masukkan nilai temperatur sebesar 32°C dengan tingkat kelembaban 50%. Klik OK



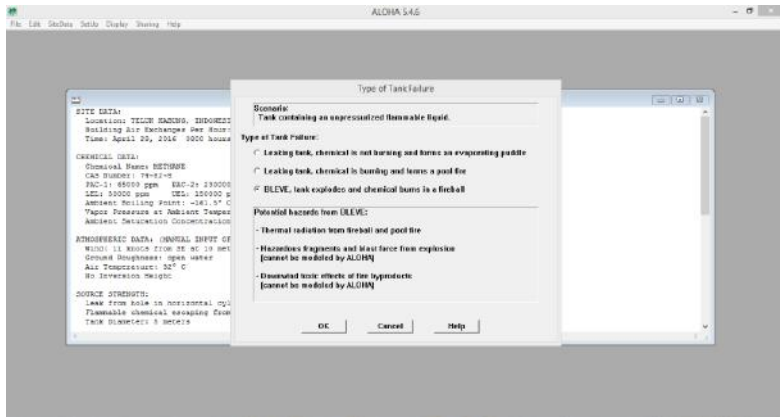
Gambar 4. 25 *Input Atmospheric Data*

7. Pilih *SetUp* -> Pilih *Source* -> Pilih *Tank*. Pada langkah ini adalah dari mana *gas release* berasal dan pada kondisi bagaimana semua data dimasukkan. Pada PBE *system* skenario yang dipilih adalah ketika tangki mengalami kebocoran dengan lubang berdiameter 1-3 mm. Masukkan rincian dimensi tangki setelah itu klik OK.



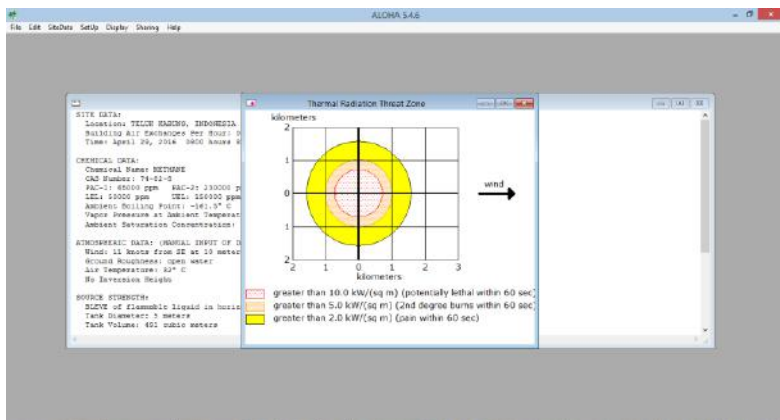
Gambar 4. 26 *Input Source Data*

8. Pilih fluida yang ada di dalam tangki berbentuk gas, cair, maupun campuran. Pada simulasi ini tangka berisi LNG sehingga dipilih *Tank Contains Liquid* dan masukkan temperatur LNG sebesar -163°C . Klik OK
9. Kemudian masukkan volume LNG yang ada pada tangki. Klik OK.
10. Pilih mode kegagalan kebocoran tangki. Kemudian input data yang diminta.



Gambar 4. 27 Mode Kegagalan

11. Untuk melihat dampak yang ditimbulkan pilih pada *toolbar* Display kemudian pilih *threat zone* atau menekan tombol Ctrl+F.



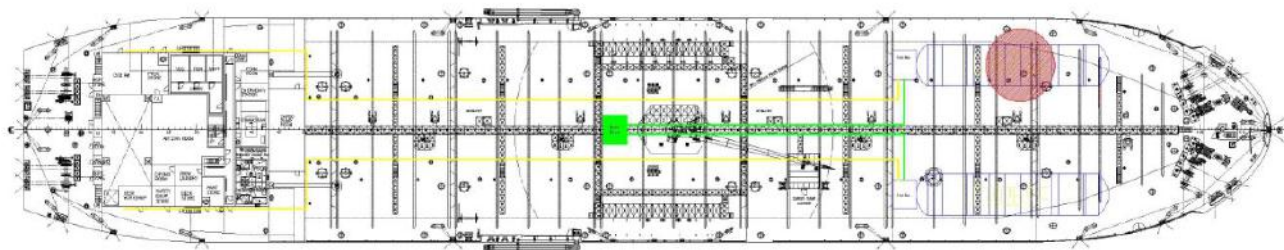
Gambar 4. 28 Hasil Dari Simulasi ALOHA

Gambar 4.28 diatas menampilkan *threat zone* untuk dampak BLEVE pada tangka LNG yang mengalami kebocoran

dengan diameter 3-10 mm. Untuk mengetahui jumlah ABK yang terdampak plot akan dilakukan dimana dari hasil ALOHA akan digambar pada *layout dual fuel system* menggunakan AutoCAD.

Gambar 4.29 adalah hasil dari pemetaan *threat zone flash fire* tangki LNG di kapal MT. Senipah. Lingkaran dengan arsiran merah adalah *threat zone* dari *flash fire* jika tangki LNG bocor dengan diameter sebesar 1-3 mm.

Tabel 4.15 merupakan hasil dari simulasi ALOHA 5.4.6 yang direkap dalam bentuk *excel*. Hasil rekap menunjukkan radiasi termal *flash fire* pada PBE system skenario *bore hole* 1-3 mm di masing-masing lokasi pada kapal. Total korban yang dapat terimbas radiasi panas sebanyak 2 orang ABK.



Gambar 4. 29 *Threat Zone Flash Fire*

Tabel 4. 15 Rekap Hasil ALOHA

Flash Fire Skenario 1-3 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m ²)	Fatality (N)
				First	Second	Third	Tolerable		
1	PBE System	Cargo/Open Deck	2	2/10 m/60 s	-	-	-	> 10	2
		Engine Room	3	-	-	-	3/- / -	< 2	-
		Upper Deck	4	-	-	-	4/- / -	< 2	-
		A Deck	4	-	-	-	4/- / -	< 2	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- / -	< 2	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- / -	< 2	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- / -	< 2	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- / -	< 2	-
Total									2

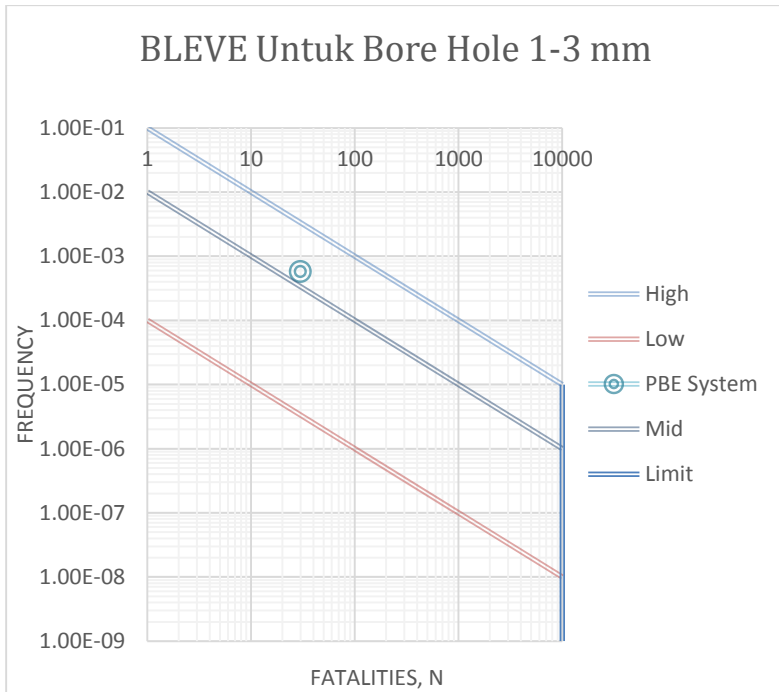
4.3.4 Penilaian Risiko

Penilaian risiko merupakan suatu tolak ukur suatu risiko dapat diterima atau tidak. Untuk mengetahui risiko dapat diterima atau tidak digunakanlah F-N Curve ACDS *Tolerability of Transport Risk Framework*. Dengan mengetahui nilai dari frekuensi dan konsekuensi bahaya *BLEVE, explosion, flash fire, jet fire*, dan *gas dispersion* dari *dual fuel system* pada kapal MT. Selanjutnya maka langkah selanjutnya adalah melakukan penilaian risiko menggunakan F-N curve. Dengan memasukkan hasil perhitungan frekuensi dan nilai konsekuensi pada F-N curve didapatkan hasil penilaian risiko dapat diterima atau tidak dari bahaya yang diidentifikasi. Jika risiko dapat diterima maka tidak perlu adanya langkah mitigasi. Sedangkan jika risiko tidak dapat diterima maka selanjutnya melakukan langkah mitigasi. Metode mitigasi yang dilakukan adalah menggunakan *layer of protection* (LOPA). Dari hasil penilaian risiko didapatkan hasil untuk bahaya *BLEVE, explosion, flash fire, jet fire*, dan *gas dispersion* untuk skenario *bore hole* 1-3 mm pada adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 16. Hasil Penilaian Risiko BLEVE Pada PBE

Skenario BLEVE Pada Bore Hole 1-3 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	30	5.76E-04	5.76E-04
2	MGE System	0	0.00E+00	5.76E-04
3	GVU System	0	0.00E+00	5.76E-04

Tabel 4.16 menunjukkan nilai frekuensi dan konsekuensi risiko BLEVE pada masing-masing sistem dengan skenario bore hole 1-3 mm.



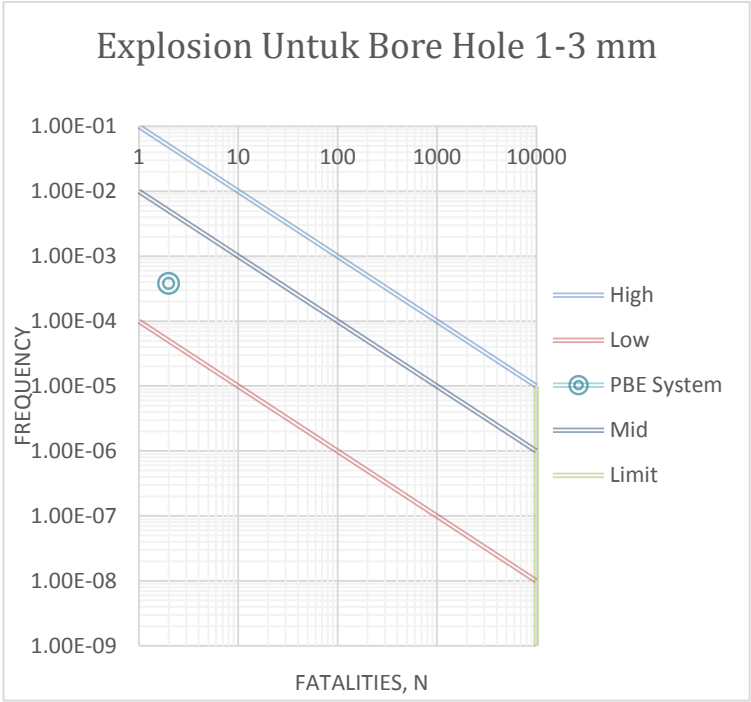
Grafik 4. 1 F-N Curve BLEVE Skenario *Bore Hole* 1-3 mm

Grafik 4.1 menunjukkan bahwa risiko BLEVE pada PBE *System* berada pada level ALARP. Sedangkan untuk sistem MGE dan GVU tidak dapat digambarkan karena konsekuensi bernilai 0. Pada MGE dan GVU risiko BLEVE tidak dapat terjadi. Pada level ALARP risiko dapat diterima. Pada level ini risiko boleh dimitigasi ataupun tidak perlu dimitigasi.

Tabel 4. 17 Hasil Penilaian Risiko Explosion Pada PBE

Skenario Explosion Pada Bore Hole 1-3 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	2	3.84E-04	3.84E-04
2	MGE System	0	1.07E-03	1.45E-03
3	GVU System	0	3.22E-03	4.67E-03

Tabel 4.17 menunjukkan nilai frekuensi dan konsekuensi risiko *explosion* pada masing-masing sistem dengan skenario *bore hole* 1-3 mm.



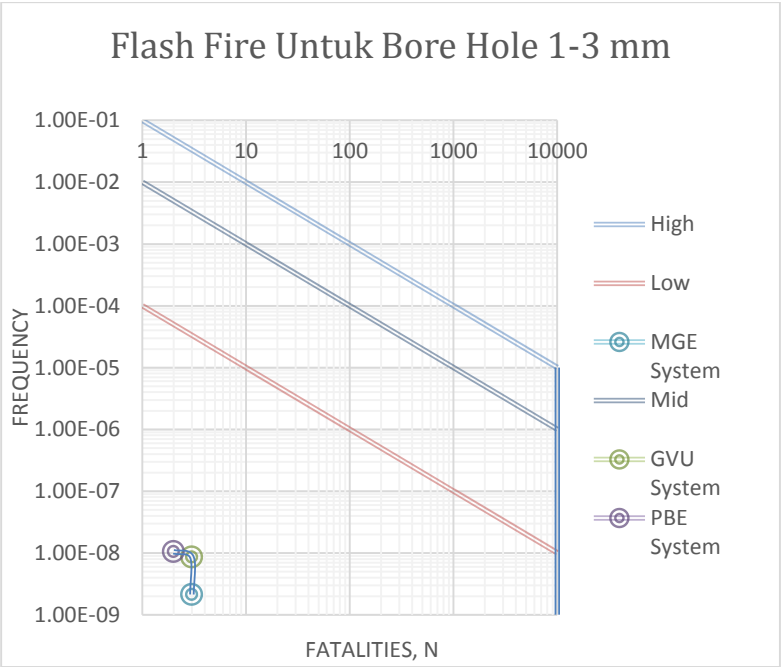
Grafik 4. 2 F-N Curve Explosion Skenario Bore Hole 1-3 mm

Grafik 4.2 menunjukkan bahwa risiko *explosion* pada PBE *System* berada pada level ALARP. Sedangkan untuk MGE dan GUV tidak dapat digambarkan karena konsekuensi bernilai 0. Pada level ALARP risiko dapat diterima. Pada level ini risiko boleh dimitigasi ataupun tidak perlu di mitigasi.

Tabel 4. 18 Hasil Penilaian Risiko *Flash Fire* Pada PBE

Skenario Flash Fire Pada Bore Hole 1-3 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	MGE System	3	2.14E-09	2.14E-09
2	GVU System	3	6.44E-09	8.58E-09
3	PBE System	2	1.92E-09	1.05E-08

Tabel 4.18 menunjukkan nilai frekuensi dan konsekuensi risiko *flash fire* pada masing-masing sistem dengan skenario *bore hole* 1-3 mm.



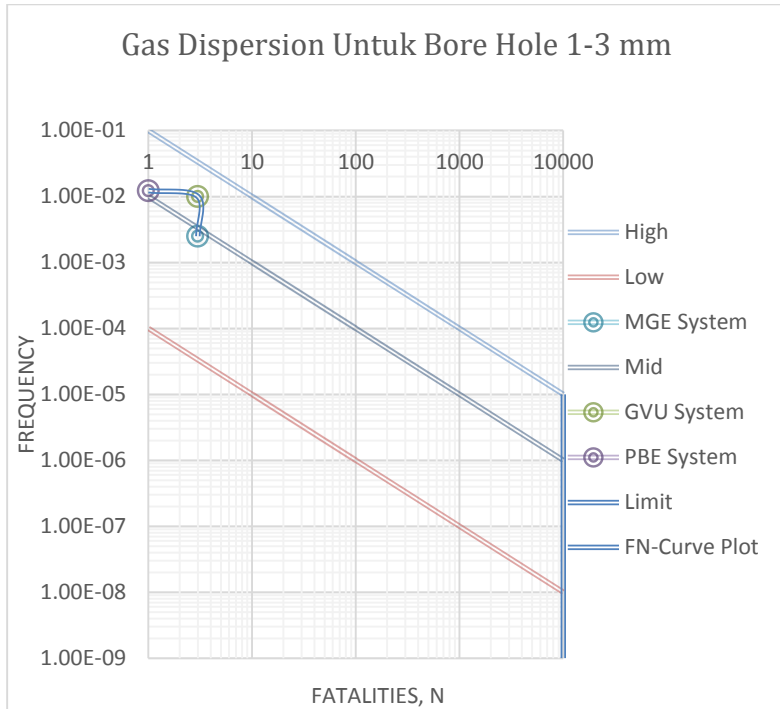
Grafik 4. 3 F-N Curve *Flash Fire* Skenario *Bore Hole* 1-3 mm

Grafik 4.3 menunjukkan bahwa risiko *flash fire* berada pada level ACCEPTABLE Pada level ini risiko dapat diterima dan tidak perlu adanya langkah mitigasi.

Tabel 4. 19 Hasil Penilaian Risiko *Gas Dispersion* Pada PBE

Skenario Gas Dispersion Pada Bore Hole 1-3 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	MGE System	3	2.49E-03	2.49E-03
2	GVU System	3	7.51E-03	1.00E-02
3	PBE System	1	2.24E-03	1.22E-02

Tabel 4.19 menunjukkan nilai frekuensi dan konsekuensi risiko *gas dispersion* pada masing-masing sistem dengan skenario bore hole 1-3 mm.



Grafik 4. 4 F-N Curve Gas Dispersion Skenario Bore Hole 1-3 mm

Grafik 4.4 menunjukkan bahwa risiko gas dispersion berada pada level ALARP. Pada level ALARP risiko dapat diterima. Pada level ini risiko boleh dimitigasi ataupun tidak perlu di mitigasi.

Sedangkan untuk risiko *jet fire* pada skenario bore hore 1-3 mm memiliki nilai frekuensi yang mendekati nilai 0. Sehingga plot frekuensi dan konsekuensi risiko *jet fire* untuk skenario *bore hole* 1-3 mm tidak dapat digambarkan.

4.3.5 Mitigasi

Dari hasil penilaian risiko diketahui semua skenario masuk pada level ACCEPTABLE dan ALARP. Pada level ACCEPTABLE tidak perlu dilakukan mitigasi. Untuk level ALARP dalam penelitian ini akan dilakukan mitigasi agar masuk kedalam kategori ACCEPTABLE walaupun sebenarnya untuk level ALARP tidak perlu dilakukan mitigasi.

Risiko yang termasuk ke dalam kategori ALARP adalah risiko BLEVE, *explosion*, dan *gas dispersion*. Mitigasi akan menggunakan LOPA metode. Mitigasi ini dilakukan dengan cara menambahkan komponen pada proses sistem, *safety* komponen, dan komponen yang dapat dipasang secara indepen tanpa mempengaruhi perhitungan proses sistem yang telah dilakukan sebelumnya. Penambahan komponen independen dipilih untuk melakukan mitigasi pada penelitian ini.

Hasil dari mitigasi menggunakan LOPA metode berbentuk tabel dari thesis Geun Woong Yun yang berjudul “*Bayesian-LOPA methodology For Risk Assessment Of An LNG Importation Terminal*”. Adapun hasil mitigasi yang dilakukan untuk risiko BLEVE dengan skenario 1-3 mm sebagai berikut:

Tabel 4. 20 LOPA Untuk BLEVE Pada PBE

Scenario BLEVE	Scenario Title: BLEVE on PBE System Bore Hole 1-3 mm	Sytem Number : 1	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	LNG storage, pipe or equipment in PBE System leak because overpressure and lead to fire or explosion		

Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas release from PBE system		3.20E-03
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	No Ignition probability	9.99E-01	
	BLEVE Probability	3.00.E-01	
	No Explosion	6.00.E-01	
Frequency of Unmitigated Consequence			5.76E-04
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		2.33E-03	
Frequency of Mitigated Consequence			1.34E-06
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install pressure and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

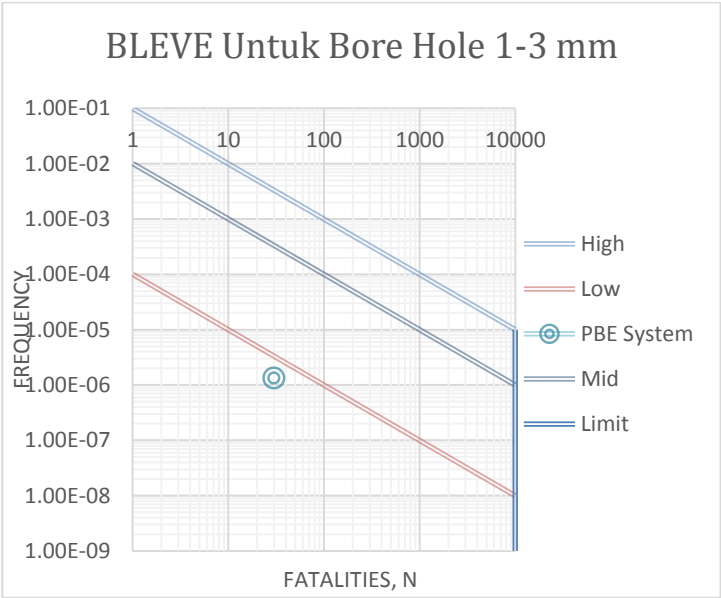
Tabel 4.20 diatas merupakan mitigasi yang dilakukan untuk risiko BLEVE bore hole 1-3 mm pada PBE sistem. Dari hasil

mitigasi didapatkan adanya perubahan nilai frekuensi yaitu yang semula 5.76E-06 menjadi 1.34E-06.

Tabel 4. 21 Hasil Penilaian Risiko Setelah Mitigasi

Skenario BLEVE Pada Bore Hole 1-3 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	30	1.34E-06	1.34E-06
2	MGE System	0	0.00E+00	1.34E-06
3	GVU System	0	0.00E+00	1.34E-06

Tabel 4.21 diatas merupakan nilai frekuensi dan konsekuensi setelah dilakukan mitigasi.



Grafik 4. 5 F-N Curve BLEVE Setelah Mitigasi Skenario Bore Hole 1-3 mm

Grafik 4.5 diatas menunjukkan risiko BLEVE bergeser dari kategori ALARP ke kategori ACCEPTABLE.

Adapun risiko yang dimitigasi selain risiko BLEVE adalah risiko *explosion* dan *gas dispersion*, sedangkan untuk risiko *flash fire* dan *jet fire* tidak perlu dilakukan mitigasi karena penilaian risiko didapatkan hasil ACCEPTABLE. Berikut contoh mitigasi yang dilakukan untuk risiko *explosion* pada PBE system skenario *bore hole* 1-3 mm:

Tabel 4. 22 LOPA Untuk Explosion Pada PBE

Scenario Explosions	Scenario Title: Explosion on PBE System Bore Hole 1-3 mm	Sytem Number : 1	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	LNG storage, pipe or equipment in PBE System leak because overpressure and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Explosion from PBE system		3.84E-04
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		

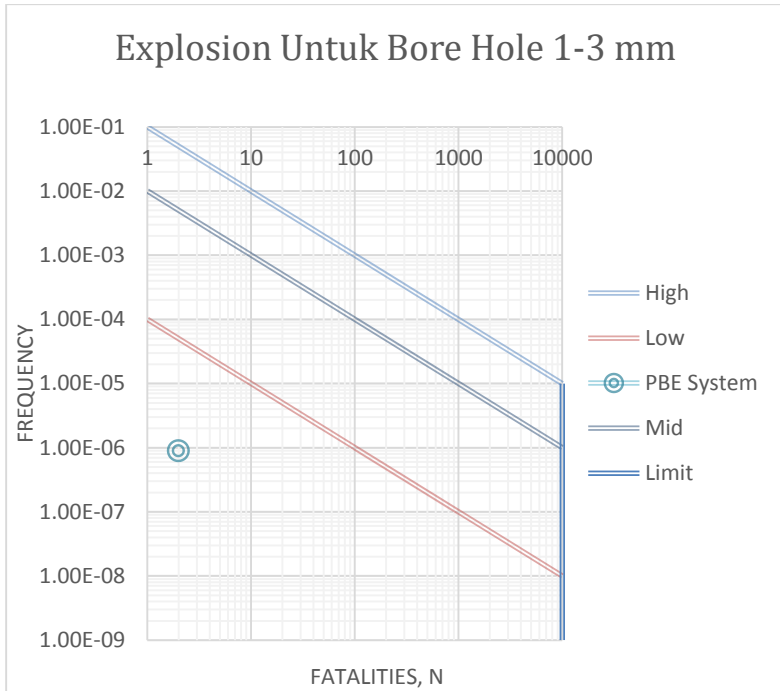
Frequency of Unmitigated Consequence			3.84E-04
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		2.33E-03	
Frequency of Mitigated Consequence			8.94E-07
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install pressure and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

Tabel 4.22 diatas merupakan mitigasi yang dilakukan untuk risiko explosion bore hole 1-3 mm pada PBE sistem. Dari hasil mitigasi didapatkan adanya perubahan nilai frekuensi yaitu yang semula 3.84E-04 menjadi 8.94E-07.

Tabel 4. 23 Hasil Penilaian Risiko Explosion Setelah Mitigasi

Skenario Explosion Pada Bore Hole 1-3 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	2	8.94E-07	8.94E-07
2	MGE System	0	1.07E-03	1.07E-03
3	GVU System	0	3.22E-03	4.29E-03

Tabel 4.23 diatas merupakan nilai frekuensi dan konsekuensi untuk risiko *explosion* skenario bore hole 1-3 mm pada PBE sistem setelah dilakukan mitigasi.



Grafik 4. 6 F-N Curve *Explosion* Setelah Mitigasi Skenario *Bore Hole* 1-3 mm

Grafik 4.6 diatas menunjukkan risiko *explosion* bergeser dari kategori ALARP ke kategori ACCEPTABLE.

Mitigasi dilakukan untuk risiko BLEVE, *explosion*, dan *gas dispersion*. Hasil lengkap mitigasi dari masing-masing sistem dapat dilihat pada lampiran.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran Identifikasi Bahaya (FMEA)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Dual Fuel System MT. Senipah
 LNGPac (LNG Tank)

**Potential
 Failure Mode and Effects Analysis
 (Design FMEA)**

Key Date 3/31/2016

FMEA Number 1
 Prepared By _____
 FMEA Date _____
 Revision Date _____
 Page _____ of _____

Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	Prob	Current Design Controls	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Completion Date	Action Results				
										Actions Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
LNG storage tank (LST-TK-01) failure	Gas release, under pressure in tank, and Supply LNG Disturbed	8	Leakage	5	Pressure Indicator	2	80							
	Jet Fire/ Flash Fire	9	Leakage and Ignition	3		8	216							
	Overpressure, Explosion	9	Overflow COB-SV-03 and LST-PSV-01 Block	5	Pressure Indicator	8	360							
Valve Venting (LST-PSV-01) failure	No Hazard	3	Block	5		9	135							
	Overpressure, Rupture, Explosion	9	Block and overpressure in tank	5	Pressure Indicator	3	135							
	Gas release and under pressure in tank	8	Leakage	5	Gas Detection	4	160							
Valve (COB-SV-01) Failure	Supply LNG Disturbed	8	Block	6		8	384							
	Gas release, under pressure in tank, and supply LNG disturbed	9	Leakage	5	Gas Detection	4	180							
	No Hazard	3	Overflow	7		3	63							
Pressure Built Up Evaporator (COB-HT-01) Failure	LNG not supply to MGE, gas release	9	Leakage	6	Gas Detection	4	216							
Valve (COB-SV-03) Failure	LNG not supply to MGE, No Hazard	8	Block	6		3	144							
	Gas release	9	Leakage	5	Gas Detection	4	180							

	No Hazard	3	Overflow	7		9	189							
Pipe A	Gas release	9	Leakage	4	Gas Detection	4	144							
Pipe B	Gas release	9	Leakage	4	Gas Detection	4	144							
Pipe C	Gas release	9	Leakage	4	Gas Detection	4	144							

System Dual Fuel System MT. Senipah
 Subsystem Fuel Gas Transfer System
 Component _____
 Design Lead _____
 Core Team _____

**Potential
Failure Mode and Effects Analysis
(Design FMEA)**

Key Date 4/2/2016

FMEA Number 2
 Prepared By _____
 FMEA Date _____
 Revision Date _____
 Page _____ of _____

Item / Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	Prob	Current Design Controls	Det	RPN	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Completion Date	Action Results				
											Actions Taken	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
Main Gas Evaporator System	Valve (COB-SV-02) Failure	No Hazard, Not supply LNG to MGE	6	Block	6		3	108							
		No Hazard	3	Overflow	7		5	105							
		Gas Release, Supply LNG to MGE disturbed	8	Leakage	5	Gas Detection	4	160							
	Main Gas Evaporator (COB-HT-02) Failure	Supply LNG to MGE disturbed, Gas Release	6	Leakage	6	Gas Detection	4	144							
	Valve (COB-SV-04) Failure	No Hazard	3	Block	6		3	54							
		No Hazard	2	Overflow	7		5	70							
		Under pressure in tank, Gas release	6	Leakage	5	Gas Detection	4	120							

	Valve (COB-SV-05) Failure	System failed because cannot be supply LNG	8	Block	6		3	144							
		No hazard	2	Overflow	7		5	70							
		Gas Release, Supply LNG to compressor disturbed	8	Leakage	5	Gas Detection	4	160							
	Valve (COB-SV-06) Failure	System failed because cannot be supply LNG	8	Block	6		3	144							
		No hazard	2	Overflow	7		5	70							
		Gas Release, Supply LNG to compressor disturbed	9	Leakage	5	Gas Detection	4	180							
	Pipe D	Gas release	9	Leakage	4	Pressure Indicator	4	144							
	Pipe E	Gas release	9	Leakage	4	Pressure Indicator	4	144							
	Pipe F	Gas release	9	Leakage	4	Pressure Indicator	4	144							

System Dual Fuel System MT.
 Subsystem Senipah
 Component Gas Valve Unit (GVU)
 Design
 Lead
 Core Team

**Potential
Failure Mode and Effects Analysis
(Design FMEA)**

Key
Date 4/2/2016

FMEA
Number 3
 Prepared By
 FMEA Date
 Revision Date
 Page of

Item / Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	Prob	Current Design Controls	Det	RPN	Recommend ed Action(s)	Responsibilit y & Target Completion Date	Action Results	New Sev	New Occ	New Det	New RPN
											Actions Taken				
GVU System	Compressor (GTS-Com-01) Failure	Supply LNG Disturbed, No hazard	6	Overheating	8	Temperature indicator	4	192							
		Supply LNG Disturbed, No hazard	6	Vibration	6		4	144							
		Rupture and explosion	9	High output and GVU-CV-01 Block	3	Pressure Indicator	4	108							
		Supply LNG Disturbed, No hazard	6	Low output	8	Pressure Indicator	4	192							
		System failed	8	Breakdown	7		10	560							
		Gas release, under pressure, Supply LNG disturbed	9	Leakage	6	Gas Detection	4	216							
	Control Valve (GVU-CV-01) Failure	Rupture and explosion	9	Block and GTS-Com-01 high output	3		5	135							
		No Hazard	3	Overflow	7		5	105							

		Gas release, under pressure, Supply LNG disturbed	9	Leakage	5	Gas Detection	4	180							
	Regulate Valve (GVU-RV-01) Failure	No Hazard	1	Block	6		3	18							
		No Hazard, Supply LNG disturbed	3	Overflow	4		5	105							
		No Hazard	1	Leakage	5	Gas Detection	4	20							
	Filter (GVU-FL-01)	Rupture and explosion	9	Block and GTS-Com-01 high output			3								
		Gas release, under pressure, Supply LNG disturbed	9	Leakage	6	Gas Detection, Pressure Indicator	4	216							
	Regulate Valve (GVU-RV-02) Failure	No hazard	2	Block	6		3	36							
		Gas release, under pressure, Supply LNG disturbed	9	Leakage	5	Gas Detection	4	180							
		LNG under pressure	5	Overflow	7	Pressure Indicator	5	175							
		No Hazard, Sytem Failed	8	Block	6		3	144							
	Shut off Valve (GVU-SV-01) Failure	No Hazard	4	Overflow	7		5	140							
		Gas release, under pressure, Supply LNG disturbed	9	Leakage	5	Gas Detection	4	180							
		No Hazard	3	Block	5		3	45							

	Pressure Safety Valve (GVU-PSV-01) Failure	Under pressure, Supply LNG disturbed	5	Overflow	5		5	12 5							
		Gas release, under pressure, Supply LNG disturbed	9	Leakage	5	Gas Detection	4	18 0							
	Shut off Valve (GVU-SV-02) Failure	No Hazard, System failed	8	Block	6		3	14 4							
		No Hazard	4	Overflow	7		5	14 0							
		Gas release, under pressure, Supply LNG disturbed	9	Leakage	5	Gas Detection	4	18 0							
		No Hazard	3	Block	5		3	45							
	Pressure Safety Valve (GVU-PSV-02) Failure	Under pressure, Supply LNG disturbed	5	Overflow	5		5	12 5							
		Gas release, under pressure, Supply LNG disturbed	9	Leakage	5	Gas Detection	4	18 0							
		No Hazard, System failed	8	Block	6		3	14 4							
	Regulate Valve (GVU-RV-03) Failure	No Hazard	4	Overflow	7		5	14 0							

		Gas release, under pressure, Supply LNG disturbed	9	Leakage	5	Gas Detection	4	18 0							
	Pipe G	Gas release, under pressure, Supply LNG disturbed	9	Leakage	4	Gas Detection	4	14 4							

“halaman ini sengaja dikosongkan”

**Lampiran perhitungan *failure probability* dari data
OREDA**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Perhitungan failure probabilitas

Dari data pada OREDA yang berupa failure rate untuk mencari nilai failure probabilitas harus dihitung terlebih dahulu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

dimana:

P(t): Nilai probabilitas kegagalan
 e: Logaritma natural
 : 2.71828
 λ : Failure rate
 t: Operational time component
 : diasumsikan dalam 8760 jam

Nomor	Vessels (LNG Storage System)	Number Of failures (mean)	Aggregeted time in service (10 ⁶)	λ (Failure rate)	t (Operational time component)	e	$\lambda \times t$	Failure Probability	Level
	Failure Mode								
1	Abnormal instrument reading	10.45	1000000	0.00001045	8760	2.71828	0.091542	0.087476954	7
2	External leakage-process medium	4.4	1000000	0.0000044	8760	2.71828	0.038544	0.037810608	6
3	External Leakage-Utility Medium	0.75	1000000	0.00000075	8760	2.71828	0.00657	0.006548460	5
4	Minor in-service problems	132	1000000	0.000132	8760	2.71828	1.15632	0.685357820	10
5	Parameter deviation	2.66	1000000	0.00000266	8760	2.71828	0.0233016	0.023032199	6
6	Plugged/ Choked	2.04	1000000	0.00000204	8760	2.71828	0.0178704	0.017711660	6
7	Structural deficiency	4.97	1000000	0.00000497	8760	2.71828	0.0435372	0.042603034	6
8	Other	3.1	1000000	0.0000031	8760	2.71828	0.027156	0.026790573	6
9	Unknown	0.33	1000000	0.00000033	8760	2.71828	0.0028908	0.002886624	5

OREDA 2002 Database for failure rate data and failure mode (page 416, Vessel)

Nomor	Valve Venting LNG Tank	Number Of failures (mean)	Aggregeted time in service (10 ⁶)	λ (Failure rate)	t (Operational time component)	e	$\lambda \times t$	Failure Probability	Level
	Failure Mode								
1	External leakage-process medium	1.13	1000000	0.00000113	8760	2.71828	0.0098988	0.009849962	5
2	Fail to close on demand	1.13	1000000	0.00000113	8760	2.71828	0.0098988	0.009849962	5
3	Spurious operation	0.77	1000000	0.00000077	8760	2.71828	0.0067452	0.006722498	5
4	Delayed operation	1.13	1000000	0.00000113	8760	2.71828	0.0098988	0.009849962	5
5	Valve leakage in closed position	1.13	1000000	0.00000113	8760	2.71828	0.0098988	0.009849962	5

6	Other	1.13	1000000	0.00000113	8760	2.71828	0.0098988	0.009849962	5
---	-------	------	---------	------------	------	---------	-----------	-------------	---

OREDA 2002 Database for failure rate data and failure mode (page 653, PSV)

Nomor	PBE Failure Mode	Number Of failures (mean)	Aggregeted time in service (10 ⁶)	λ (Failure rate)	t (Operational time component)	e	$\lambda \times t$	Failure Probability	Level
1	Abnormal instrument reading	0.70	1000000	0.0000007	8760	2.71828	0.006132	0.00611323	5
2	External leakage-process medium	5.14	1000000	0.0000051	8760	2.71828	0.045026	0.04402773	6
3	External leakage-Utility medium	1.49	1000000	0.0000015	8760	2.71828	0.013052	0.01296758	6
4	Insufficient heat transfer	1.00	1000000	0.0000010	8760	2.71828	0.008760	0.00872174	5
5	Minor in service problem	0.54	1000000	0.0000005	8760	2.71828	0.004730	0.00471923	5
6	Other	0.54	1000000	0.0000005	8760	2.71828	0.004730	0.00471923	5
7	Parameter deviation	2.39	1000000	0.0000024	8760	2.71828	0.020936	0.02071874	6
8	Plugged/ choked	0.64	1000000	0.0000006	8760	2.71828	0.005606	0.00559071	5
9	Structural deficiency	4.75	1000000	0.0000048	8760	2.71828	0.041610	0.04075616	6
10	Internal leakage	1.29	1000000	0.0000013	8760	2.71828	0.011300	0.01123678	5
11	Unknown	1.15	1000000	0.0000012	8760	2.71828	0.010074	0.01002342	5

OREDA 2002 Database for failure rate data and failure mode (page 375, Heat Exchanger)

Nomor	MGE Failure Mode	Number Of failures (mean)	Aggregeted time in service (10 ⁶)	λ (Failure rate)	t (Operational time component)	e	$\lambda \times t$	Failure Probability	Level
1	Abnormal instrument reading	0.70	1000000	0.0000007	8760	2.71828	0.006132	0.00611323	5
2	External leakage-process medium	5.14	1000000	0.0000051	8760	2.71828	0.045026	0.04402773	6
3	External leakage-Utility medium	1.49	1000000	0.0000015	8760	2.71828	0.013052	0.01296758	6
4	Insufficient heat transfer	1.00	1000000	0.0000010	8760	2.71828	0.008760	0.00872174	5
5	Minor in service problem	0.54	1000000	0.0000005	8760	2.71828	0.004730	0.00471923	5
6	Other	0.54	1000000	0.0000005	8760	2.71828	0.004730	0.00471923	5
7	Parameter deviation	2.39	1000000	0.0000024	8760	2.71828	0.020936	0.02071874	6
8	Plugged/ choked	0.64	1000000	0.0000006	8760	2.71828	0.005606	0.00559071	5
9	Structural deficiency	4.75	1000000	0.0000048	8760	2.71828	0.041610	0.04075616	6
10	Internal leakage	1.29	1000000	0.0000013	8760	2.71828	0.011300	0.01123678	5
11	Unknown	1.15	1000000	0.0000012	8760	2.71828	0.010074	0.01002342	5

OREDA 2002 Database for failure rate data and failure mode (page 375, Heat Exchanger)

Nomor	COB-SV-01 Failure Mode	Number Of failures (mean)	Aggregeted time in service (10 ⁶)	λ (Failure rate)	t (Operational time component)	e	$\lambda \times t$	Failure Probability	Level
1	Fail to close on demand	8.63	1000000	0.0000086	8760	2.71828	0.075599	0.07281183	7

2	Fail to open on demand	4.35	1000000	0.0000044	8760	2.71828	0.038106	0.03738908	6
3	Other	0.74	1000000	0.0000007	8760	2.71828	0.006482	0.00646143	5
4	Spurious operation	1.19	1000000	0.0000012	8760	2.71828	0.010424	0.01037025	5
5	Structural deficiency	1.23	1000000	0.0000012	8760	2.71828	0.010775	0.01071695	5
6	Valve leakage in closed position	0.39	1000000	0.0000004	8760	2.71828	0.003416	0.00341057	5
7	Abnormal instrument reading	1.49	1000000	0.0000015	8760	2.71828	0.013052	0.01296758	6
8	Delayed operation	1.35	1000000	0.0000014	8760	2.71828	0.011826	0.01175634	5
9	Minor in service problem	0.74	1000000	0.0000007	8760	2.71828	0.006482	0.00646143	5
10	Unknown	0.20	1000000	0.0000002	8760	2.71828	0.001752	0.00175046	4

Nomor	Compressor	Number Of failures (mean)	Aggregated time in service (10 ⁶)	λ (Failure rate)	t (Operational time component)	e	$\lambda \times t$	Failure Probability	Level
	Failure Mode								
1	Abnormal instrument reading	6.03	1000000	0.00000603	8760	2.71828	0.0528228	0.051451886	7
2	Breakdown	6.20	1000000	0.00000620	8760	2.71828	0.0543120	0.052863412	7
3	Erratic output	9.41	1000000	0.00000941	8760	2.71828	0.0824316	0.079125525	7
4	External leakage-Process medium	12.45	1000000	0.00001245	8760	2.71828	0.1090620	0.103325112	7
5	External leakage-Utility medium	24.22	1000000	0.00002422	8760	2.71828	0.2121672	0.191170435	8
6	Fail to start on demand	40.25	1000000	0.00004025	8760	2.71828	0.3525900	0.297134524	8
7	Fail to stop on demand	2.80	1000000	0.00000280	8760	2.71828	0.0245280	0.024229617	6
8	High output	0.45	1000000	0.00000045	8760	2.71828	0.0039420	0.003934238	5
9	Internal leakage	2.68	1000000	0.00000268	8760	2.71828	0.0234768	0.023203348	6
10	Low output	44.11	1000000	0.00004411	8760	2.71828	0.3864036	0.320503598	8
11	Minor in-service problems	0.76	1000000	0.00000076	8760	2.71828	0.0066576	0.006635483	5
12	Noise	1.86	1000000	0.00000186	8760	2.71828	0.0162936	0.016161567	6
13	Other	3.07	1000000	0.00000307	8760	2.71828	0.0268932	0.026534780	6
14	Overheating	20.16	1000000	0.00002016	8760	2.71828	0.1766016	0.161886278	8
15	Parameter deviation	14.91	1000000	0.00001491	8760	2.71828	0.1306116	0.122441371	7
16	Spurious stop	60.30	1000000	0.00006030	8760	2.71828	0.5282280	0.410350888	9
17	Structural deficiency	3.02	1000000	0.00000302	8760	2.71828	0.0264552	0.026108309	6
18	Vibration	4.54	1000000	0.00000454	8760	2.71828	0.0397704	0.038989913	6
19	Unknown	7.70	1000000	0.00000770	8760	2.71828	0.0674520	0.065227369	7

Nomor	GVU-CV-01 Failure Mode	Number Of failures (mean)	Aggregated time in service (10 ⁶)	λ (Failure rate)	t (Operational time component)	e	$\lambda \times t$	Failure Probability	Level
1	Fail to close on demand	8.63	1000000	0.00000863	8760	2.71828	0.07559880	0.072811833	7
2	Fail to open on demand	4.35	1000000	0.00000435	8760	2.71828	0.03810600	0.037389077	6
3	Other	0.74	1000000	0.00000074	8760	2.71828	0.00648240	0.006461430	5
4	Spurious operation	1.19	1000000	0.00000119	8760	2.71828	0.01042440	0.010370247	5
5	Structural deficiency	1.23	1000000	0.00000123	8760	2.71828	0.01077480	0.010716953	5
6	Valve leakage in closed position	0.39	1000000	0.00000039	8760	2.71828	0.00341640	0.003410568	5
7	Abnormal instrument reading	1.42	1000000	0.00000142	8760	2.71828	0.01243920	0.012362145	5
8	Delayed operation	1.35	1000000	0.00000135	8760	2.71828	0.01182600	0.011756340	5
9	External leakage-process medium	0.78	1000000	0.00000078	8760	2.71828	0.00683280	0.006809505	5
10	External leakage-utility medium	2.66	1000000	0.00000266	8760	2.71828	0.02330160	0.023032199	6
11	Minor service in-problem	0.74	1000000	0.00000074	8760	2.71828	0.00648240	0.006461430	5
12	Unknown	2.15	1000000	0.00000215	8760	2.71828	0.01883400	0.018657736	6

OREDA 2002 Database for failure rate data and failure mode (page 616, Gate Valve Gas System)

Nomor	GVU-RV-01 Failure Mode	Number Of failures (mean)	Aggregated time in service (10 ⁶)	λ (Failure rate)	t (Operational time component)	e	$\lambda \times t$	Failure Probability	Level
1	Fail to close on demand	8.63	1000000	0.00000863	8760	2.71828	0.07559880	0.072811833	7
2	Fail to open on demand	4.35	1000000	0.00000435	8760	2.71828	0.03810600	0.037389077	6
3	Other	0.74	1000000	0.00000074	8760	2.71828	0.00648240	0.006461430	5
4	Spurious operation	1.19	1000000	0.00000119	8760	2.71828	0.01042440	0.010370247	5
5	Structural deficiency	1.23	1000000	0.00000123	8760	2.71828	0.01077480	0.010716953	5
6	Valve leakage in closed position	0.39	1000000	0.00000039	8760	2.71828	0.00341640	0.003410568	5
7	Abnormal instrument reading	1.42	1000000	0.00000142	8760	2.71828	0.01243920	0.012362145	5
8	Delayed operation	1.35	1000000	0.00000135	8760	2.71828	0.01182600	0.011756340	5
9	External leakage-process medium	0.78	1000000	0.00000078	8760	2.71828	0.00683280	0.006809505	5
10	External leakage-utility medium	2.66	1000000	0.00000266	8760	2.71828	0.02330160	0.023032199	6
11	Minor service in-problem	0.74	1000000	0.00000074	8760	2.71828	0.00648240	0.006461430	5
12	Unknown	2.15	1000000	0.00000215	8760	2.71828	0.01883400	0.018657736	6

OREDA 2002 Database for failure rate data and failure mode (page 616, Gate Valve Gas System)

Nomor	GVU-RV-02 Failure Mode	Number Of failures (mean)	Aggregated time in service (10 ⁶)	λ (Failure rate)	t (Operational time component)	e	$\lambda \times t$	Failure Probability	Level
1	Fail to close on demand	8.63	1000000	0.00000863	8760	2.71828	0.07559880	0.072811833	7
2	Fail to open on demand	4.35	1000000	0.00000435	8760	2.71828	0.03810600	0.037389077	6

3	Other	0.74	1000000	0.00000074	8760	2.71828	0.00648240	0.006461430	5
4	Spurious operation	1.19	1000000	0.00000119	8760	2.71828	0.01042440	0.010370247	5
5	Structural deficiency	1.23	1000000	0.00000123	8760	2.71828	0.01077480	0.010716953	5
6	Valve leakage in closed position	0.39	1000000	0.00000039	8760	2.71828	0.00341640	0.003410568	5
7	Abnormal instrument reading	1.42	1000000	0.00000142	8760	2.71828	0.01243920	0.012362145	5
8	Delayed operation	1.35	1000000	0.00000135	8760	2.71828	0.01182600	0.011756340	5
9	External leakage-process medium	0.78	1000000	0.00000078	8760	2.71828	0.00683280	0.006809505	5
10	External leakage-utility medium	2.66	1000000	0.00000266	8760	2.71828	0.02330160	0.023032199	6
11	Minor service in-problem	0.74	1000000	0.00000074	8760	2.71828	0.00648240	0.006461430	5
12	Unknown	2.15	1000000	0.00000215	8760	2.71828	0.01883400	0.018657736	6

OREDA 2002 Database for failure rate data and failure mode (page 616, Gate Valve Gas System)

Nomor	GVU-RV-03 Failure Mode	Number Of failures (mean)	Aggregated time in service (10 ⁶)	λ (Failure rate)	t (Operational time component)	e	$\lambda \times t$	Failure Probability	Level
1	Fail to close on demand	8.63	1000000	0.00000863	8760	2.71828	0.07559880	0.072811833	7
2	Fail to open on demand	4.35	1000000	0.00000435	8760	2.71828	0.03810600	0.037389077	6
3	Other	0.74	1000000	0.00000074	8760	2.71828	0.00648240	0.006461430	5
4	Spurious operation	1.19	1000000	0.00000119	8760	2.71828	0.01042440	0.010370247	5
5	Structural deficiency	1.23	1000000	0.00000123	8760	2.71828	0.01077480	0.010716953	5
6	Valve leakage in closed position	0.39	1000000	0.00000039	8760	2.71828	0.00341640	0.003410568	5
7	Abnormal instrument reading	1.42	1000000	0.00000142	8760	2.71828	0.01243920	0.012362145	5
8	Delayed operation	1.35	1000000	0.00000135	8760	2.71828	0.01182600	0.011756340	5
9	External leakage-process medium	0.78	1000000	0.00000078	8760	2.71828	0.00683280	0.006809505	5
10	External leakage-utility medium	2.66	1000000	0.00000266	8760	2.71828	0.02330160	0.023032199	6
11	Minor service in-problem	0.74	1000000	0.00000074	8760	2.71828	0.00648240	0.006461430	5
12	Unknown	2.15	1000000	0.00000215	8760	2.71828	0.01883400	0.018657736	6

OREDA 2002 Database for failure rate data and failure mode (page 616, Gate Valve Gas System)

Nomor	GVU-SV-01 Failure Mode	Number Of failures (mean)	Aggregated time in service (10 ⁶)	λ (Failure rate)	t (Operational time component)	e	$\lambda \times t$	Failure Probability	Level
1	Fail to close on demand	2.32	1000000	0.00000232	8760	2.71828	0.02032320	0.020118062	6
2	External leakage-utility medium	4.47	1000000	0.00000447	8760	2.71828	0.03915720	0.038400441	6
3	Unknown	4.47	1000000	0.00000447	8760	2.71828	0.03915720	0.038400441	6

OREDA 2002 Database for failure rate data and failure mode (page 797, Shutoff Gate Valve)

Nomor	GVU-SV-02	Number Of failures (mean)	Aggregated time in service (10 ⁶)	λ (Failure rate)	t (Operational time component)	e	$\lambda \times t$	Failure Probability	Level
	Failure Mode								
1	Fail to close on demand	2.32	1000000	0.00000232	8760	2.71828	0.02032320	0.020118062	6
2	External leakage-utility medium	4.47	1000000	0.00000447	8760	2.71828	0.03915720	0.038400441	6
3	Unknown	4.47	1000000	0.00000447	8760	2.71828	0.03915720	0.038400441	6

OREDA 2002 Database for failure rate data and failure mode (page 797, Shutoff Gate Valve)

Nomor	GVU-PSV-01	Number Of failures (mean)	Aggregated time in service (10 ⁶)	λ (Failure rate)	t (Operational time component)	e	$\lambda \times t$	Failure Probability	Level
	Failure Mode								
1	External leakage-process medium	1.13	1000000	0.00000113	8760	2.71828	0.00989880	0.009849962	5
2	Fail to close on demand	1.13	1000000	0.00000113	8760	2.71828	0.00989880	0.009849962	5
3	Spurious operation	4.83	1000000	0.00000483	8760	2.71828	0.04231080	0.041428163	5
4	Delayed operation	1.13	1000000	0.00000113	8760	2.71828	0.00989880	0.009849962	5
5	Valve leakage in closed position	2.33	1000000	0.00000233	8760	2.71828	0.02041080	0.020203896	4
6	Other	1.13	1000000	0.00000113	8760	2.71828	0.00989880	0.009849962	5

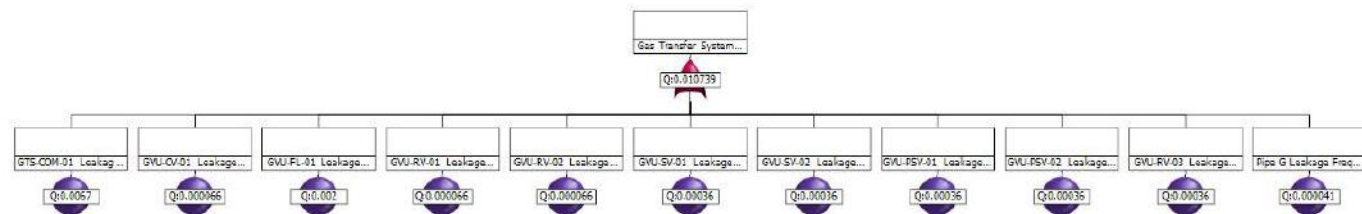
OREDA 2002 Database for failure rate data and failure mode (page 653, PSV valve pilot operated)

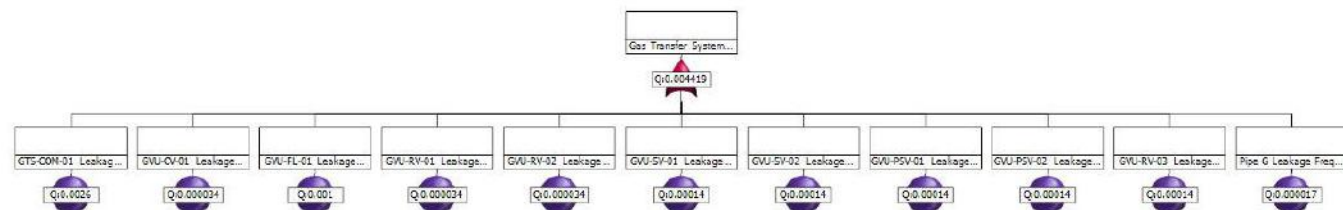
Nomor	GVU-PSV-02	Number Of failures (mean)	Aggregated time in service (10 ⁶)	λ (Failure rate)	t (Operational time component)	e	$\lambda \times t$	Failure Probability	Level
	Failure Mode								
1	External leakage-process medium	1.13	1000000	0.00000113	8760	2.71828	0.00989880	0.009849962	5
2	Fail to close on demand	1.13	1000000	0.00000113	8760	2.71828	0.00989880	0.009849962	5
3	Spurious operation	4.83	1000000	0.00000483	8760	2.71828	0.04231080	0.041428163	5
4	Delayed operation	1.13	1000000	0.00000113	8760	2.71828	0.00989880	0.009849962	5
5	Valve leakage in closed position	2.33	1000000	0.00000233	8760	2.71828	0.02041080	0.020203896	4
6	Other	1.13	1000000	0.00000113	8760	2.71828	0.00989880	0.009849962	5

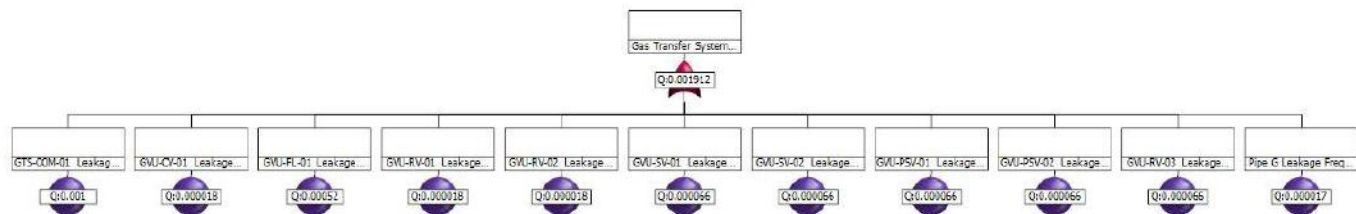
OREDA 2002 Database for failure rate data and failure mode (page 653, PSV valve pilot operated)

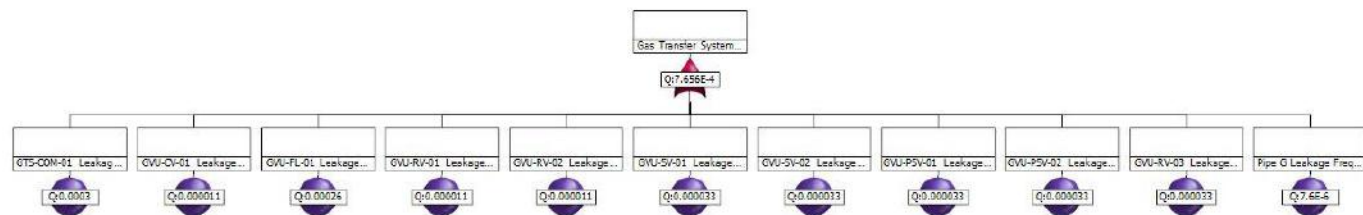
**Lampiran Perhitungan Frekuensi Menggunakan FTA
(RELEX 2009)**

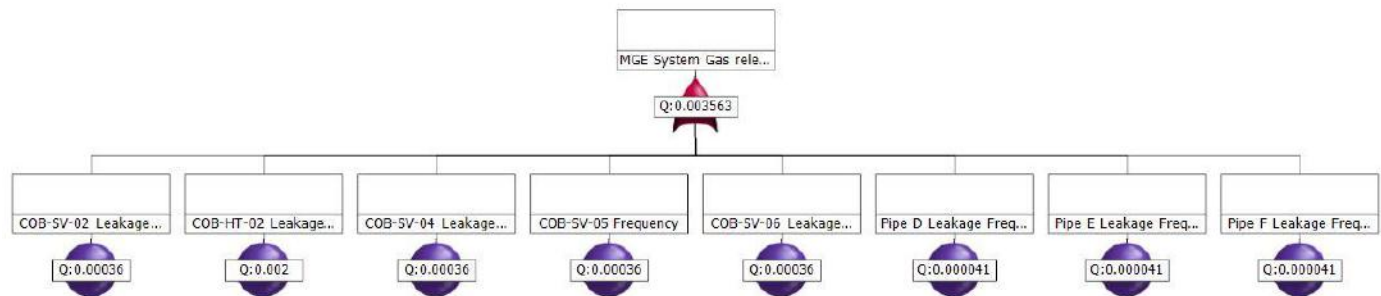
“Halaman Sengaja Dikosongkan”

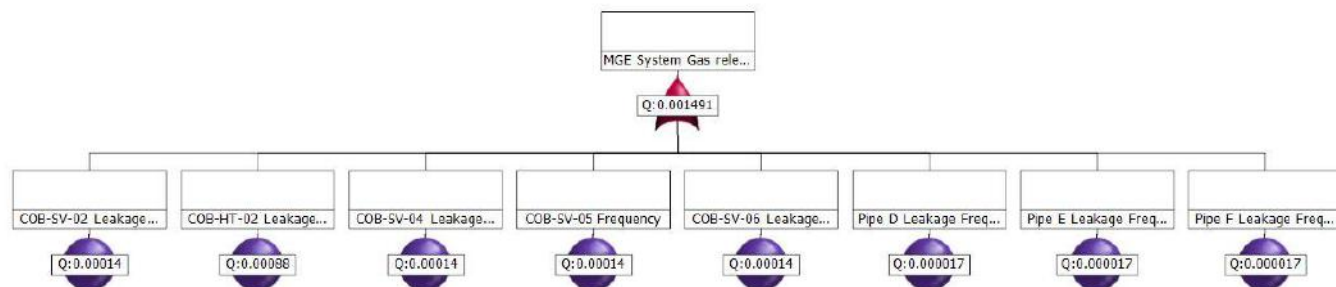


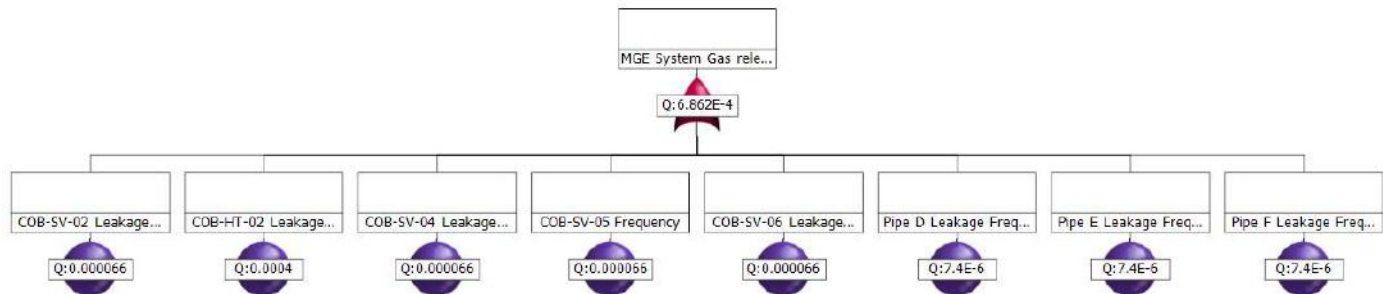


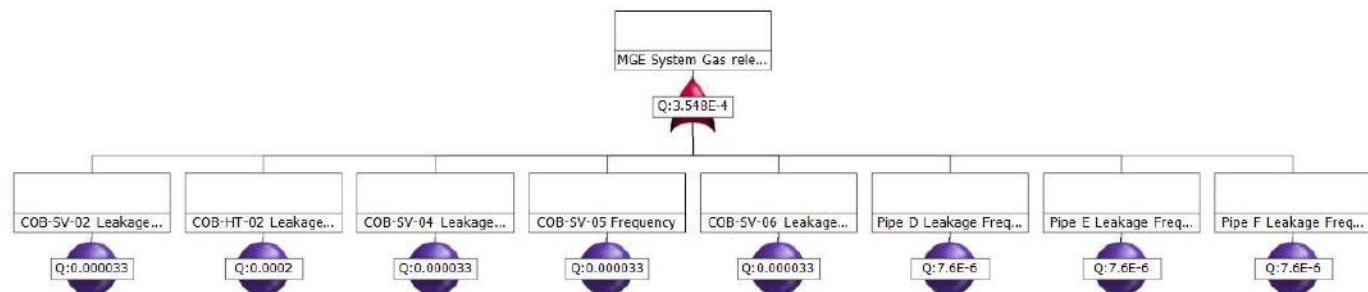


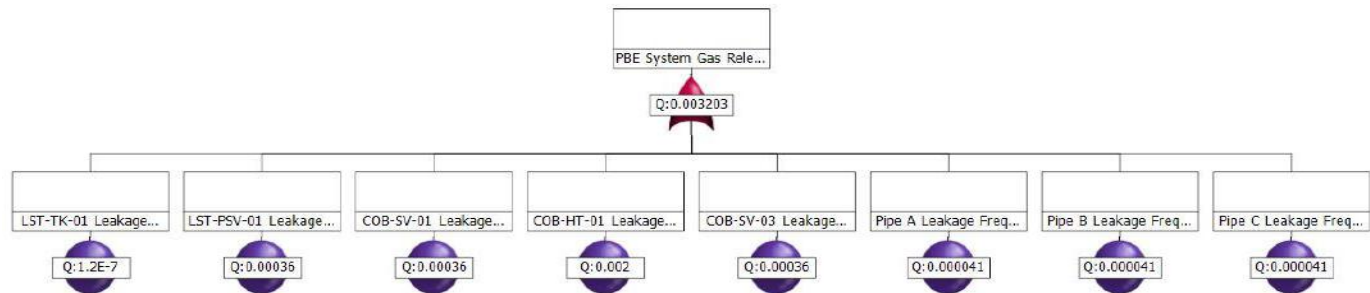


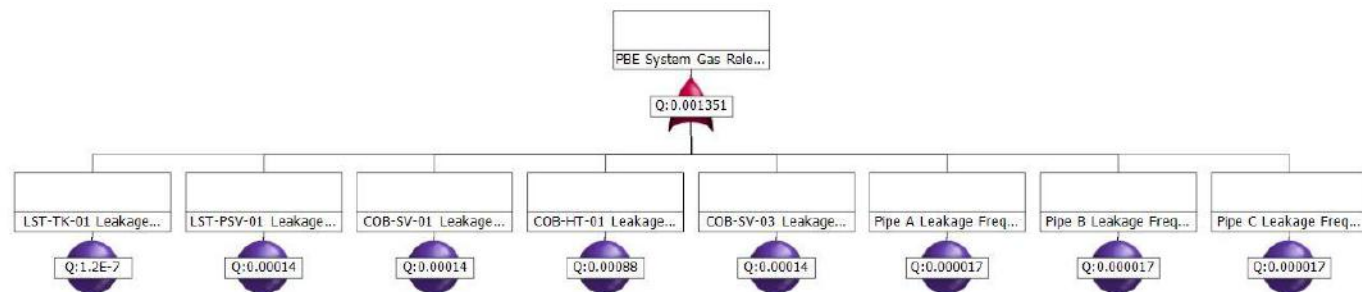


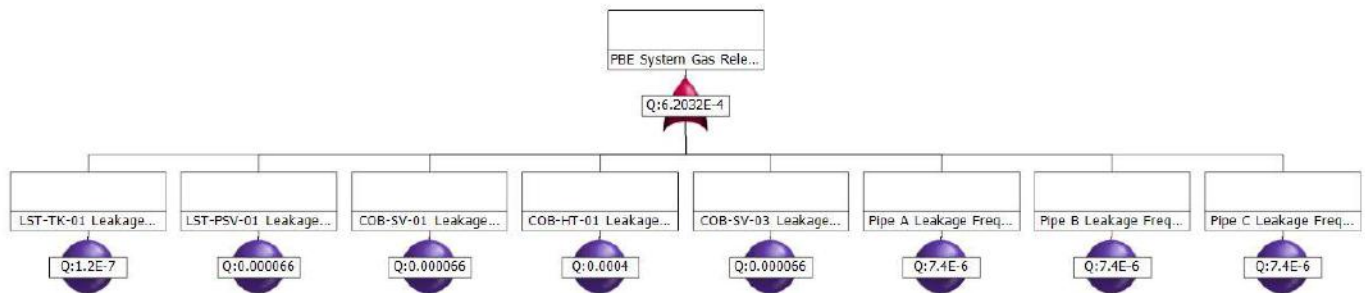


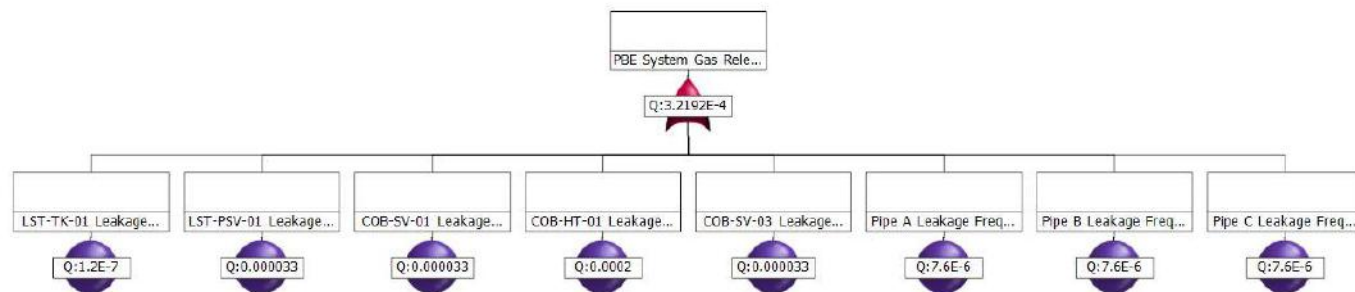






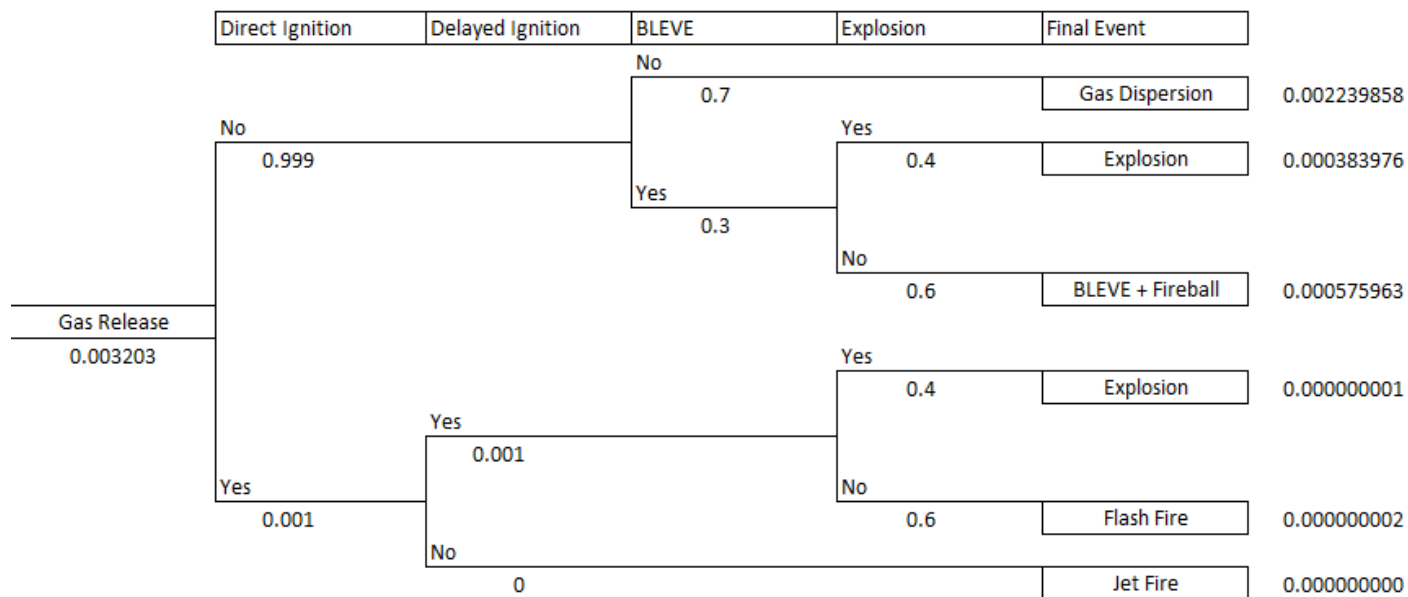






Lampiran Perhitungan Frekuensi Menggunakan ETA

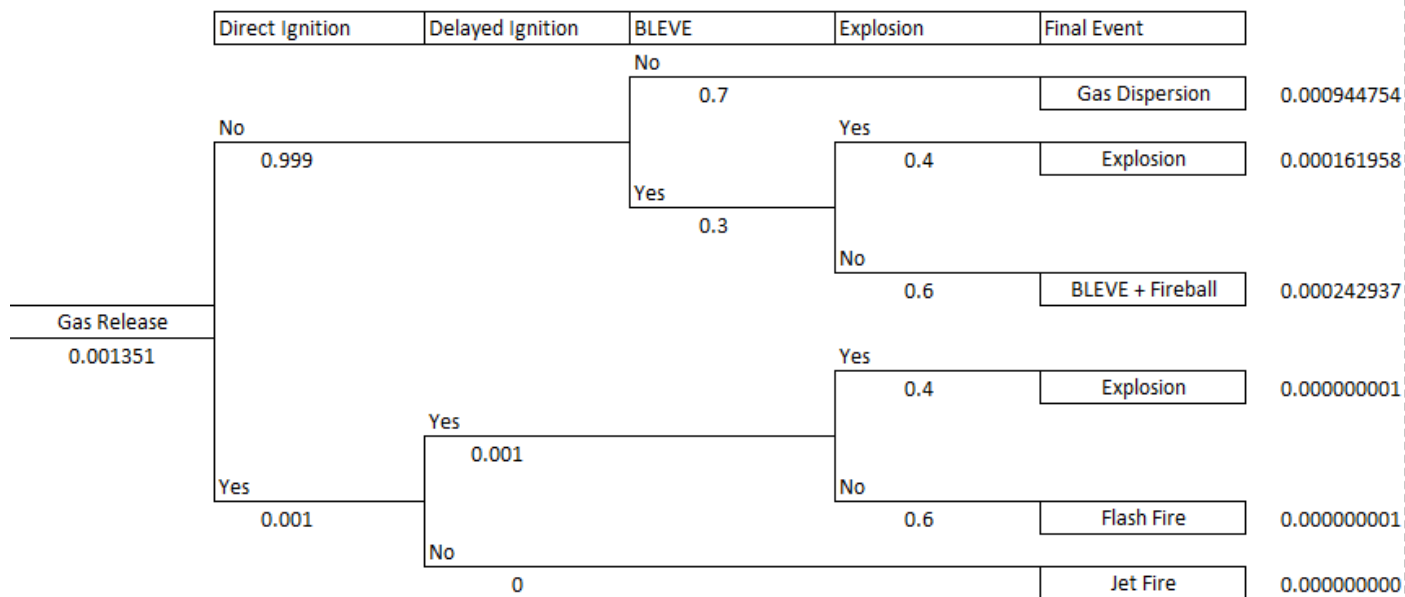
“Halaman ini sengaja dikosongkan”



PBE System Gas Release (Leakage Hole 1-3 mm)

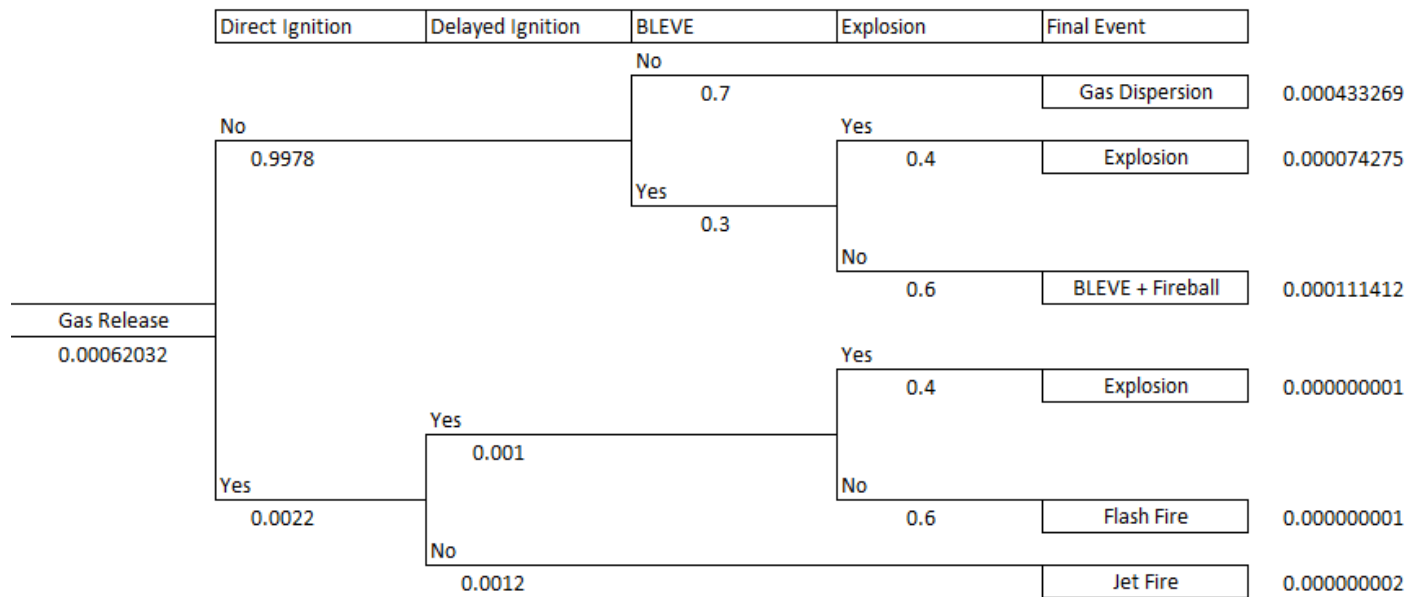
Flow release 0.004230 kg/s

Ignition probability OGP 0.001


PBE System Gas Release (Leakage Hole 3-10 mm)

Flow release 0.046996 kg/s

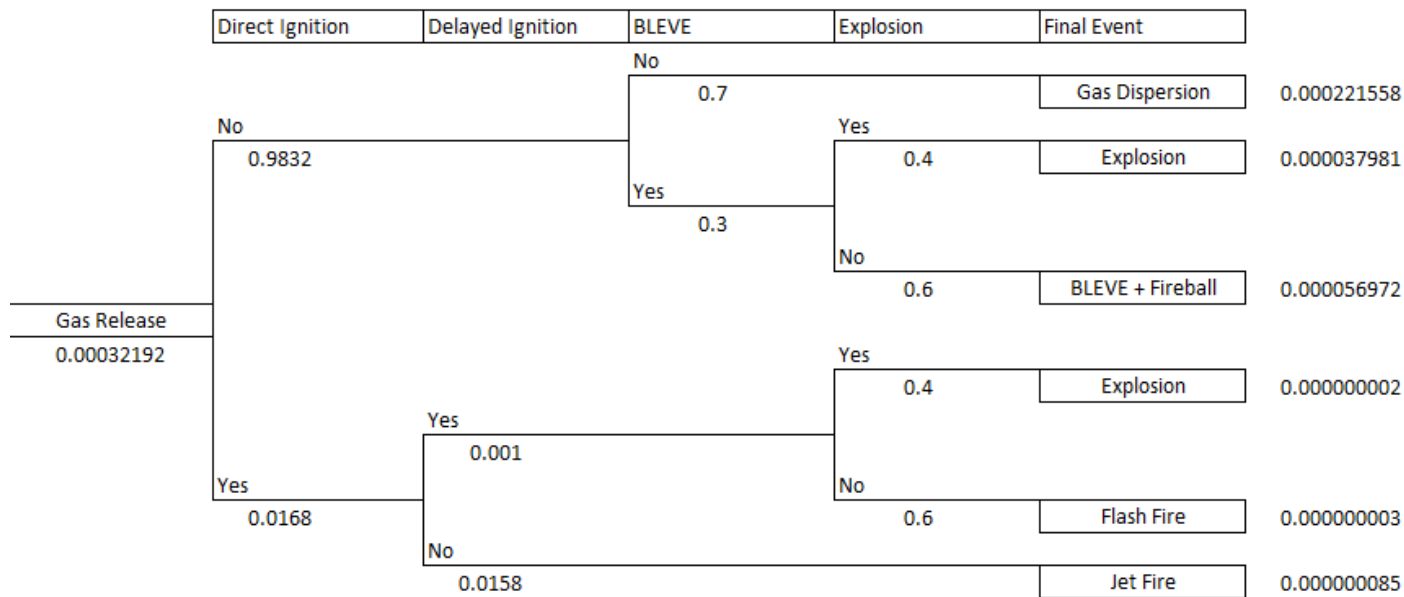
Ignition probability OGP 0.001



PBE System Gas Release (Leakage Hole 10-50 mm)

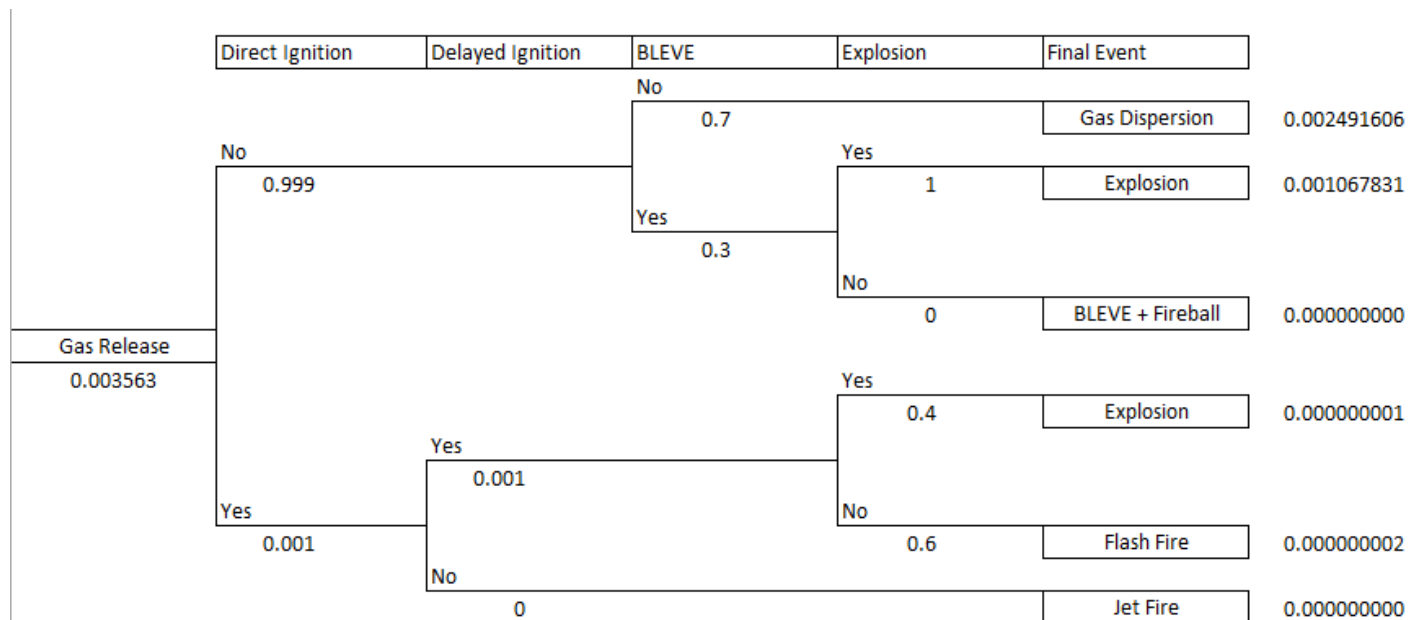
Flow release 1.174906 kg/s

Ignition probability OGP 0.0022


PBE System Gas Release (Leakage Hole 50-150 mm)

Flow release 10.574150 kg/s

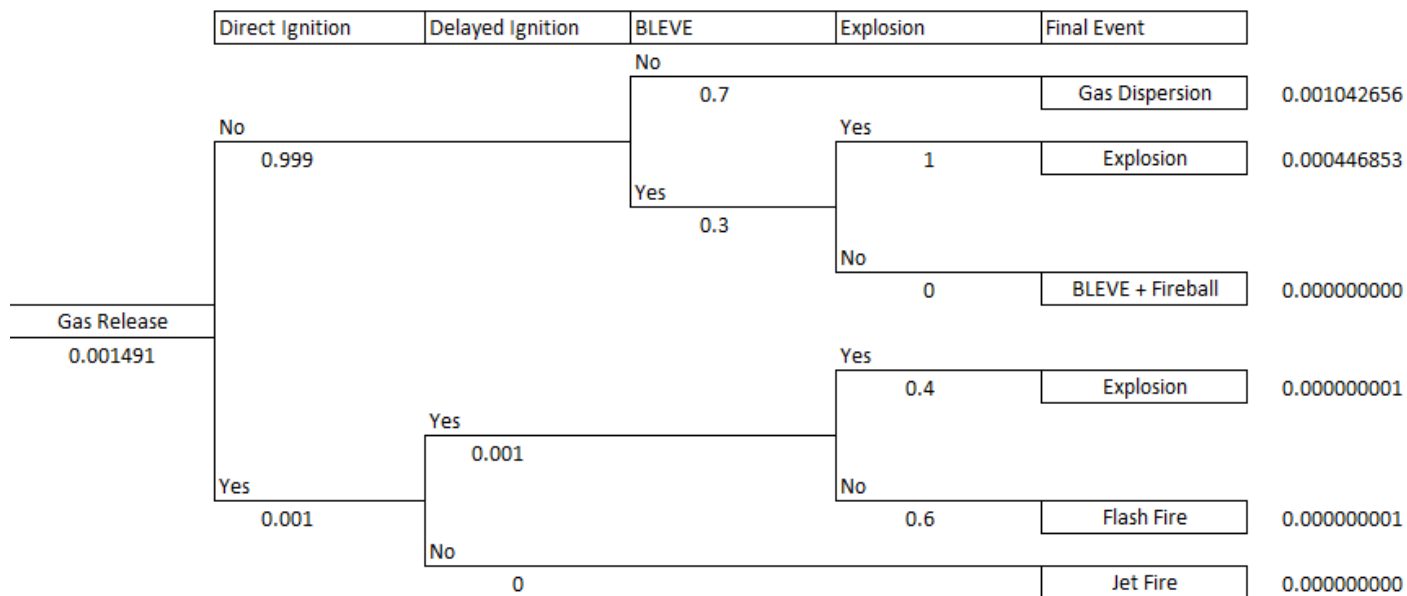
Ignition probability OGP 0.0168



MGE System Gas Release (Leakage Hole 1-3 mm)

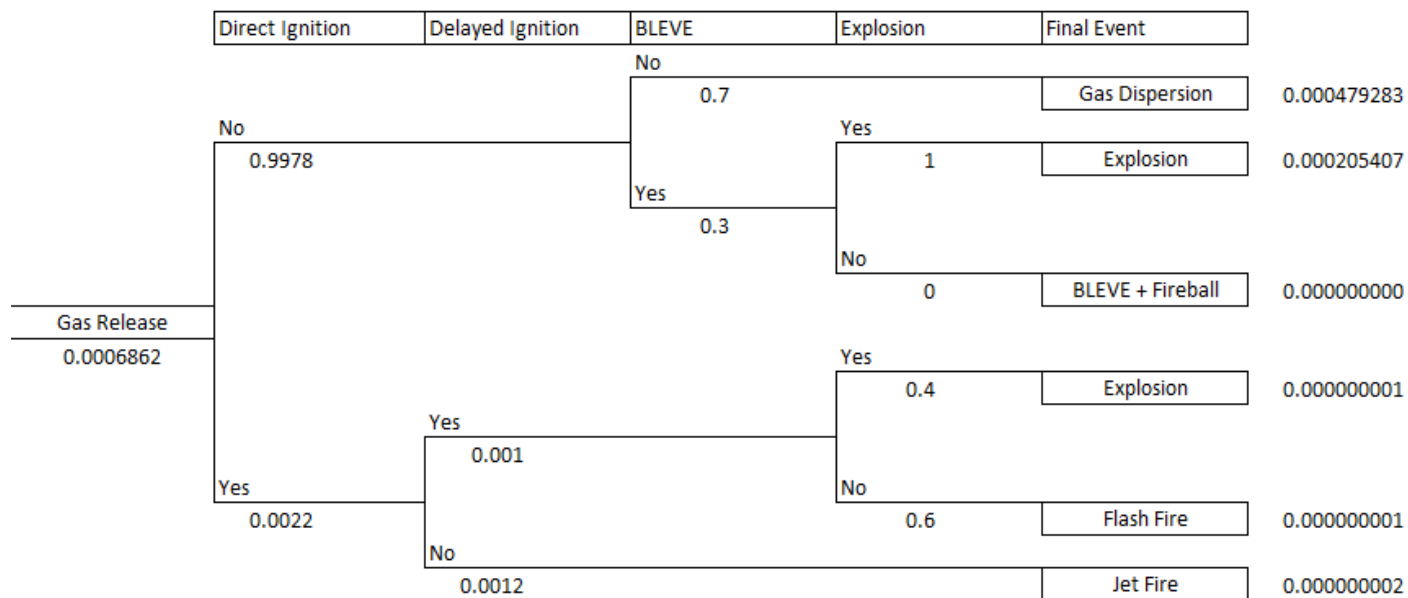
Flow release 0.006344 kg/s

Ignition probability OGP 0.001


MGE System Gas Release (Leakage Hole 3-10 mm)

Flow release 0.070493 kg/s

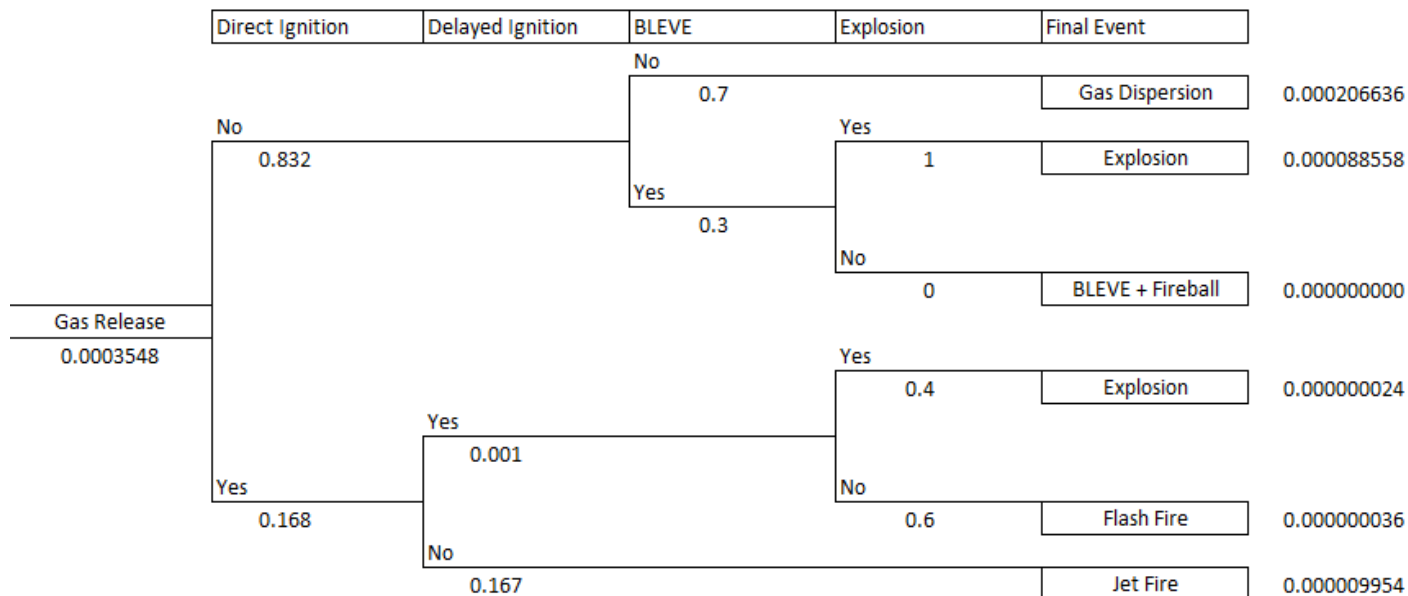
Ignition probability OGP 0.001



MGE System Gas Release (Leakage Hole 10-50 mm)

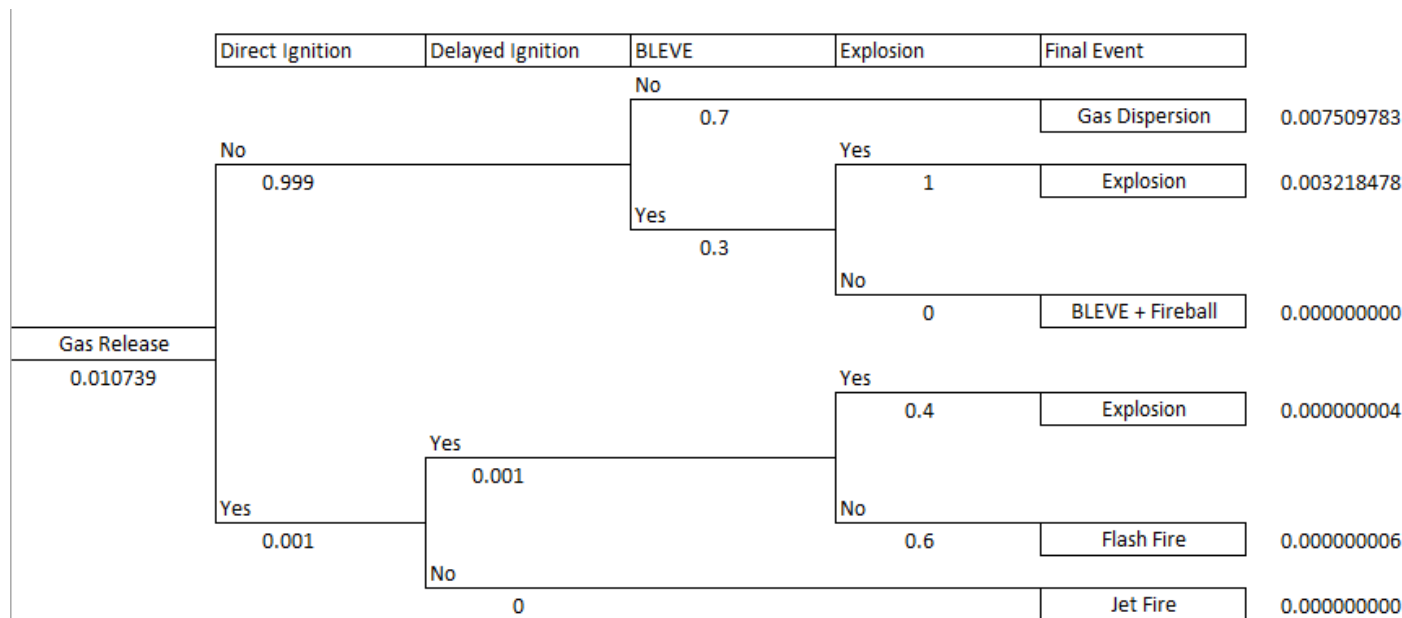
Flow release 1.762337 kg/s

Ignition probability OGP 0.0022


MGE System Gas Release (Leakage Hole 50-150 mm)

Flow release 15.861037 kg/s

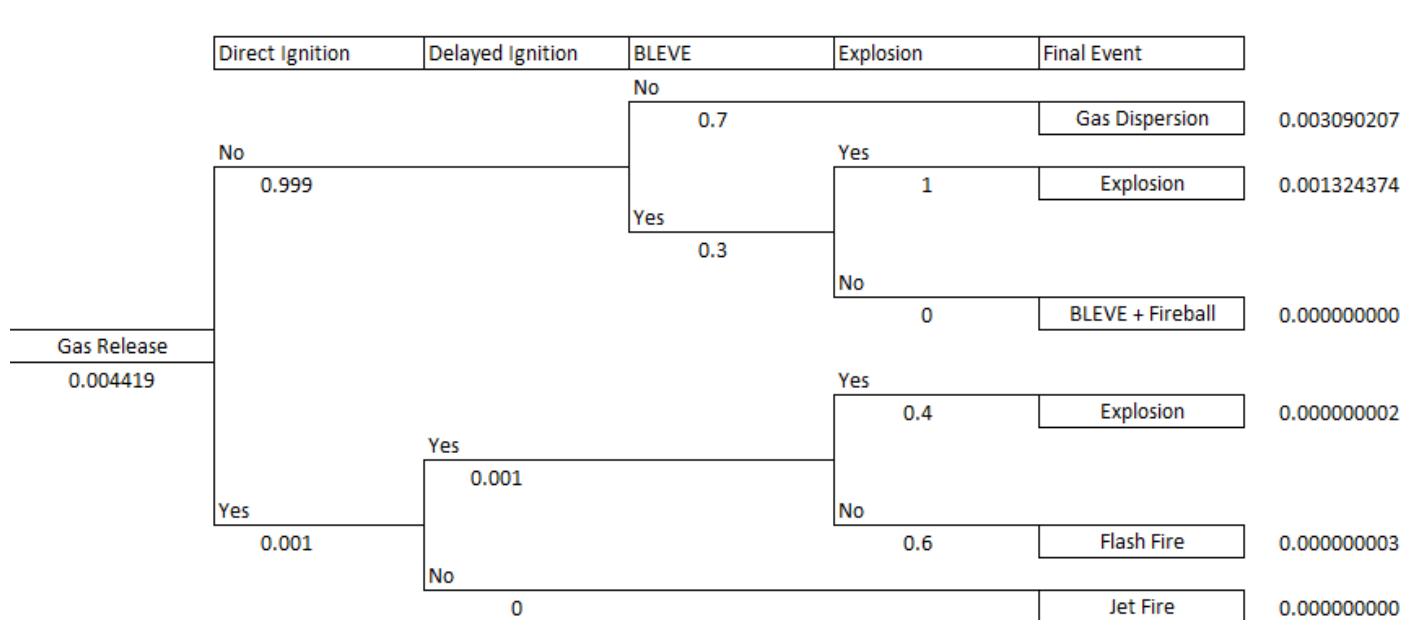
Ignition probability OGP 0.168



Gas Transfer System Gas Release (Leakage Hole 1-3 mm)

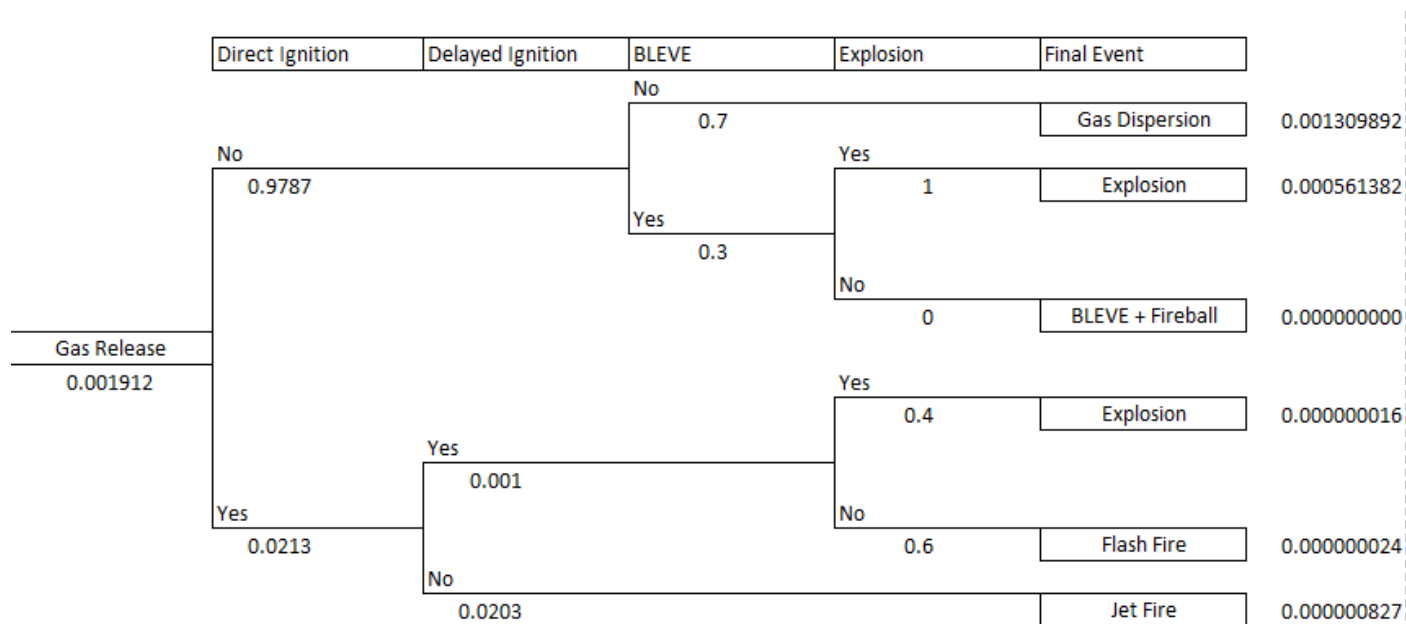
Flow release 0.008191 kg/s

Ignition probability OGP 0.001


Gas Transfer System Gas Release (Leakage Hole 3-10 mm)

Flow release 0.091006 kg/s

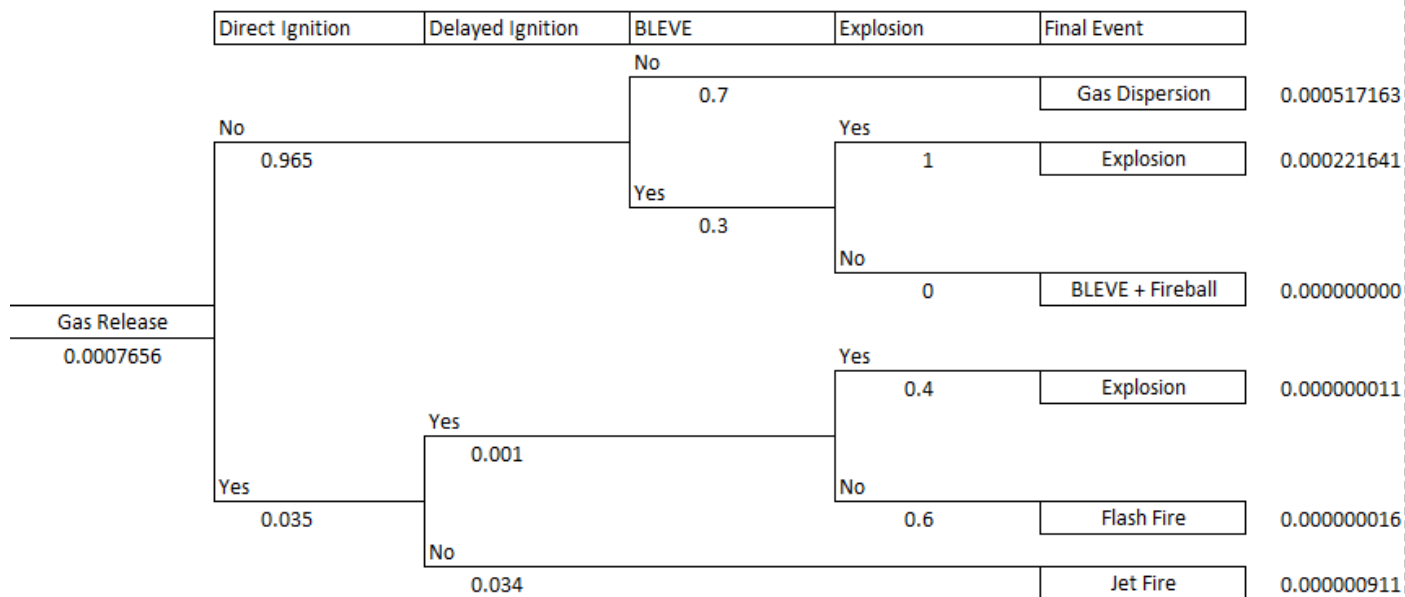
Ignition probability OGP 0.001



Gas Transfer System Gas Release (Leakage Hole 10-50 mm)

Flow release 2.275159 kg/s

Ignition probability OGP 0.0213



Gas Transfer System Gas Release (Leakage Hole 50-150 mm)

Flow release 20.476432 kg/s

Ignition probability OGP 0.035

Rekap Hasil ETA

No.	System	Potential Hazard	Scenario Bore Hole			
			1-3 mm	3-10 mm	10-50 mm	50-150 mm
1	PBE System	BLEVE/ Fireball	5.76E-04	2.43E-04	1.11E-04	5.70E-05
		Explosion	3.84E-04	1.62E-04	7.43E-05	3.80E-05
		Flash Fire	1.92E-09	8.11E-10	8.19E-10	3.24E-09
		Jet Fire	0.00E+00	0.00E+00	1.64E-09	8.55E-08
		Gas Dispersion	2.24E-03	9.45E-04	4.33E-04	2.22E-04
2	MGE System	BLEVE/ Fireball	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		Explosion	1.07E-03	4.47E-04	2.05E-04	8.86E-05
		Flash Fire	2.14E-09	8.95E-10	9.06E-10	3.58E-08
		Jet Fire	0.00E+00	0.00E+00	1.81E-09	9.95E-06
		Gas Dispersion	2.49E-03	1.04E-03	4.79E-04	2.07E-04
3	GVU System	BLEVE/ Fireball	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
		Explosion	3.22E-03	1.32E-03	5.61E-04	2.22E-04
		Flash Fire	6.44E-09	2.65E-09	2.44E-08	1.61E-08
		Jet Fire	0.00E+00	0.00E+00	8.27E-07	9.11E-07
		Gas Dispersion	7.51E-03	3.09E-03	1.31E-03	5.17E-04

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran Hasil Rekap Simulasi ALOHA

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BLEVE/ Fireball Skenario 1-3 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m ²)	Fatality (N)
				First	Second	Third	Tolerable		
1	PBE System	Cargo/Open Deck	2	2/760 m/60 s	-	-	-	> 10	2
		Engine Room	3	3/760 m/60 s	-	-	-	> 10	3
		Upper Deck	4	4/760 m/60 s	-	-	-	> 10	4
		A Deck	4	4/760 m/60 s	-	-	-	> 10	4
		B Deck	8	8/760 m/60 s	-	-	-	> 10	8
		C Deck	5	5/760 m/60 s	-	-	-	> 10	5
		Nav. Bri. Deck	3	3/760 m/60 s	-	-	-	> 10	3
		Compass Deck	1	1/760 m/60 s	-	-	-	> 10	1
Total									30

BLEVE/ Fireball Skenario 3-10 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m ²)	Fatality (N)
				First	Second	Third	Tolerable		
1	PBE System	Cargo/Open Deck	2	2/760 m/60 s	-	-	-	> 10	2
		Engine Room	3	3/760 m/60 s	-	-	-	> 10	3
		Upper Deck	4	4/760 m/60 s	-	-	-	> 10	4
		A Deck	4	4/760 m/60 s	-	-	-	> 10	4
		B Deck	8	8/760 m/60 s	-	-	-	> 10	8
		C Deck	5	5/760 m/60 s	-	-	-	> 10	5
		Nav. Bri. Deck	3	3/760 m/60 s	-	-	-	> 10	3
		Compass Deck	1	1/760 m/60 s	-	-	-	> 10	1
Total									30

BLEVE/ Fireball Skenario 10-50 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m ²)	Fatality (N)
				First	Second	Third	Tolerable		
1	PBE System	Cargo/Open Deck	2	2/760 m/60 s	-	-	-	> 10	2
		Engine Room	3	3/760 m/60 s	-	-	-	> 10	3
		Upper Deck	4	4/760 m/60 s	-	-	-	> 10	4
		A Deck	4	4/760 m/60 s	-	-	-	> 10	4
		B Deck	8	8/760 m/60 s	-	-	-	> 10	8
		C Deck	5	5/760 m/60 s	-	-	-	> 10	5
		Nav. Bri. Deck	3	3/760 m/60 s	-	-	-	> 10	3
		Compass Deck	1	1/760 m/60 s	-	-	-	> 10	1
Total									30

Explosion Skenario 1-3 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Effect (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)			Pressure (psi)	Fatality (N)	
				Red	Orange	Yellow			Tolerable
1	PBE System	Cargo/Open Deck	2	-	-	2/11 m/60 s	-	1.0 - 3.5	2
		Engine Room	3	-	-	-	3/- / -	< 1.0	-
		Upper Deck	4	-	-	-	4/- / -	< 1.0	-
		A Deck	4	-	-	-	4/- / -	< 1.0	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- / -	< 1.0	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- / -	< 1.0	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- / -	< 1.0	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- / -	< 1.0	-
Total									2

Explosion Skenario 3-10 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Effect (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)			Pressure (psi)	Fatality (N)	
				Red	Orange	Yellow			Tolerable
1	PBE System	Cargo/Open Deck	2	-	-	2/11 m/60 s	-	1.0 - 3.5	2
		Engine Room	3	-	-	-	3/- /-	< 1.0	-
		Upper Deck	4	-	-	-	4/- /-	< 1.1	-
		A Deck	4	-	-	-	4/- /-	< 1.2	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- /-	< 1.3	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- /-	< 1.4	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 1.5	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- /-	< 1.6	-
Total									2

Explosion Skenario 10-50 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Effect (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)			Pressure (psi)	Fatality (N)	
				Red	Orange	Yellow			Tolerable
1	PBE System	Cargo/Open Deck	2	-	-	2/84 m/60 s	-	1.0 - 3.5	2
		Engine Room	3	-	-	-	3/- / -	< 1.0	-
		Upper Deck	4	-	-	-	4/- / -	< 1.0	-
		A Deck	4	-	-	-	4/- / -	< 1.0	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- / -	< 1.0	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- / -	< 1.0	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- / -	< 1.0	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- / -	< 1.0	-
Total									2

Flash Fire Skenario 3-10 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m ²)	Fatality (N)
				First	Second	Third	Tolerable		
1	PBE System	Cargo/Open Deck	2	2/10 m/60 s	-	-	-	> 10	2
		Engine Room	3	-	-	-	3/- / -	< 2	-
		Upper Deck	4	-	-	-	4/- / -	< 2	-
		A Deck	4	-	-	-	4/- / -	< 2	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- / -	< 2	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- / -	< 2	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- / -	< 2	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- / -	< 2	-
Total									2

Flash Fire Skenario 10-50 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m²)	Fatality (N)
				First	Second	Third	Tolerable		
1	PBE System	Cargo/Open Deck	2	1/20 m/60 s	-	-	-	> 10	1
		Engine Room	3				3/- / -	< 2	-
		Upper Deck	4				4/- / -	< 2	-
		A Deck	4				4/- / -	< 2	-
		B Deck	8				8/- / -	< 2	-
		C Deck	5				5/- / -	< 2	-
		Nav. Bri. Deck	3				3/- / -	< 2	-
		Compass Deck	1				1/- / -	< 2	-
Total									1

Flash Fire Skenario 50-150 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m ²)	Fatality (N)
				First	Second	Third	Tolerable		
1	PBE System	Cargo/Open Deck	2	1/53 m/60 s	-	1/103 m/60 s	-	2.0 - 10	2
		Engine Room	3	-	-	-	3/- / -	< 2	-
		Upper Deck	4	-	-	-	4/- / -	< 2	-
		A Deck	4	-	-	-	4/- / -	< 2	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- / -	< 2	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- / -	< 2	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- / -	< 2	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- / -	< 2	-
Total									2

Jet Fire Scenario 10-50 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m ²)	Fatality (N)
				Red	Orange	Yellow	Tolerable		
1	PBE System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	-	-	-
		Engine Room	3	-	-	-	-	-	-
		Upper Deck	4	-	-	-	-	-	-
		A Deck	4	-	-	-	-	-	-
		B Deck	8	-	-	-	-	-	-
		C Deck	5	-	-	-	-	-	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	-	-	-
		Compass Deck	1	-	-	-	-	-	-
Total									0

Jet Fire Skenario 50-150 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m²)	Fatality (N)
				Red	Orange	Yellow	Tolerable		
1	PBE System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	-	-	-
		Engine Room	3	-	-	-	-	-	-
		Upper Deck	4	-	-	-	-	-	-
		A Deck	4	-	-	-	-	-	-
		B Deck	8	-	-	-	-	-	-
		C Deck	5	-	-	-	-	-	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	-	-	-
		Compass Deck	1	-	-	-	-	-	-
Total									0

Gas Dispersion Skenario 1-3 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Protective Action Criteria (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)				PPM	Fatality (N)
				PAC-3	PAC-2	PAC-1	Tolerable		
1	PBE System	Cargo/Open Deck	2	1/11 m/60 s	-	-	-	> 17000	1
		Engine Room	3	-	-	-	3/- / -	< 2900	-
		Upper Deck	4	-	-	-	4/- / -	< 2900	-
		A Deck	4	-	-	-	4/- / -	< 2900	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- / -	< 2900	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- / -	< 2900	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- / -	< 2900	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- / -	< 2900	-
Total									1

Gas Dispersion Skenario 50-150 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Protective Action Criteria (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)				PPM	Fatality (N)
				PAC-3	PAC-2	PAC-1	Tolerable		
1	PBE System	Cargo/Open Deck	2	2/277 m/60 s	-	-	-	> 17000	2
		Engine Room	3	-	-	-	3/- / -	< 2900	-
		Upper Deck	4	-	-	-	4/- / -	< 2900	-
		A Deck	4	-	-	-	4/- / -	< 2900	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- / -	< 2900	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- / -	< 2900	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- / -	< 2900	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- / -	< 2900	-
Total									2

Explosion Skenario 10-50 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Effect (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)				Pressure (psi)	Fatality (N)
				Red	Orange	Yellow	Tolerable		
1	MGE System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	2/- /-	< 1.0	-
		Engine Room	3	-	-	-	3/- /-	< 1.0	-
		Upper Deck	4	-	-	3/31 m/60 s	-	1.0 - 3.5	3
		A Deck	4	-	-	1/31 m/60 s	-	1.0 - 3.5	1
		B Deck	8	-	-	4/31 m/60 s	-	1.0 - 3.5	4
		C Deck	5	-	-	2/31 m/60 s	-	1.0 - 3.5	2
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	3/31 m/60 s	-	1.0 - 3.5	3
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- /-	< 1.0	-
Total									13

Explosion Skenario 50-150 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Effect (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)			Pressure (psi)	Fatality (N)	
				Red	Orange	Yellow			Tolerable
1	MGE System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	2/- /-	< 1.0	-
		Engine Room	3	-	-	-	3/- /-	< 1.0	-
		Upper Deck	4	-	-	2/136 m/60 s	-	1.0 - 3.5	2
		A Deck	4	-	-	2/136 m/60 s	-	1.0 - 3.5	1
		B Deck	8	-	-	4/136 m/60 s	-	1.0 - 3.5	4
		C Deck	5	-	-	2/136 m/60 s	-	1.0 - 3.5	2
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	1/136 m/60 s	-	1.0 - 3.5	1
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- /-	< 1.0	-
Total									10

Flash Fire Skenario 3-10 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Protective Action Criteria (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)				PPM	Fatality (N)
				PAC-3	PAC-2	PAC-1	Tolerable		
1	MGE System	Cargo/Open Deck	2	1/10 m/60 s	-	-	-	> 17000	1
		Engine Room	3	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Upper Deck	4	2/10 m/60 s	-	-	-	< 17000	2
		A Deck	4	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		B Deck	8	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		C Deck	5	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Compass Deck	1	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
Total									3

Flash Fire Skenario 10-50 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Protective Action Criteria (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)				PPM	Fatality (N)
				PAC-3	PAC-2	PAC-1	Tolerable		
1	MGE System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	2/- /-	< 5000	-
		Engine Room	3	-	-	-	3/- /-	< 5000	-
		Upper Deck	4	-	-	2/104 m/60 s	-	5000-17000	2
		A Deck	4	-	-	-	4/- /-	< 5000	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- /-	< 5000	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- /-	< 5000	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 5000	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- /-	< 5000	-
Total									2

Flash Fire Skenario 50-150 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Protective Action Criteria (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)				PPM	Fatality (N)
				PAC-3	PAC-2	PAC-1	Tolerable		
1	MGE System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	2/- /-	< 5000	-
		Engine Room	3	-	-	-	3/- /-	< 5000	-
		Upper Deck	4	-	-	2/180 m/60 s	-	5000-30000	2
		A Deck	4	-	-	1/180 m/60 s	-	5000-30000	1
		B Deck	8	-	-	3/180 m/60 s	-	5000-30000	3
		C Deck	5	-	-	2/180 m/60 s	-	5000-30000	2
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 5000	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- /-	< 5000	-
Total									8

Jet Fire Skenario 1-3 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m ²)	Fatality (N)
				Red	Orange	Yellow	Tolerable		
1	MGE System	Cargo/Open Deck	2	1/10 m/60 s	-	-	-	> 10	1
		Engine Room	3	-	-	-	3/- /-	< 2	-
		Upper Deck	4	2/10 m/60 s	-	-	-	> 10	2
		A Deck	4	-	-	-	4/- /-	< 2	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- /-	< 2	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- /-	< 2	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 2	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- /-	< 2	-
Total									3

Jet Fire Skenario 10-50 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m ²)	Fatality (N)
				Red	Orange	Yellow	Tolerable		
1	MGE System	Cargo/Open Deck	2	-	-	1/12 m/60 s	-	2.0 - 5.0	1
		Engine Room	3	-	-	-	3/- -/-	< 2.0	-
		Upper Deck	4	2/10 m/60 s	-	1/12 m/60 s	-	> 10	3
		A Deck	4	-	-	-	4/- -/-	< 2.0	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- -/-	< 2.0	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- -/-	< 2.0	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- -/-	< 2.0	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- -/-	< 2.0	-
		Total							

Jet Fire Skenario 50-150 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m ²)	Fatality (N)
				Red	Orange	Yellow	Tolerable		
1	MGE System	Cargo/Open Deck	2	-	1/27 m/60 s	-	-	5.0 - 10	1
		Engine Room	3	-	-	-	-	< 2.0	-
		Upper Deck	4	3/19 m/60 s	-	-	-	> 10	3
		A Deck	4	-	1/27 m/60 s	-	-	5.0 - 1.0	1
		B Deck	8	-	-	2/ 41 m/60 s	-	2.0 - 5.0	2
		C Deck	5	-	-	-	5/- /-	< 2.0	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 2.0	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- /-	< 2.0	-
Total									7

Gas Dispersion Skenario 1-3 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Protective Action Criteria (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)				PPM	Fatality (N)
				PAC-3	PAC-2	PAC-1	Tolerable		
1	MGE System	Cargo/Open Deck	2	1/10 m/60 s	-	-	-	> 17000	1
		Engine Room	3	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Upper Deck	4	2/10 m/60 s	-	-	-	> 17000	2
		A Deck	4	-	-	-	4/- /-	< 2900	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- /-	< 2900	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- /-	< 2900	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- /-	< 2900	-
Total									3

Gas Dispersion Skenario 3-10 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Protective Action Criteria (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)				PPM	Fatality (N)
				PAC-3	PAC-2	PAC-1	Tolerable		
1	MGE System	Cargo/Open Deck	2	1/10 m/60 s	-	-	-	> 17000	1
		Engine Room	3	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Upper Deck	4	2/10 m/60 s	-	-	-	> 17000	2
		A Deck	4	-	-	-	4/- /-	< 2900	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- /-	< 2900	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- /-	< 2900	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- /-	< 2900	-
Total									3

Gas Dispersion Skenario 50-150 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Protective Action Criteria (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)				PPM	Fatality (N)
				PAC-3	PAC-2	PAC-1	Tolerable		
1	MGE System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	2/- /-	< 2900	-
		Engine Room	3	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Upper Deck	4	2/170 m/60 s	-	-	-	> 17000	2
		A Deck	4	-	-	-	4/- /-	< 2900	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- /-	< 2900	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- /-	< 2900	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- /-	< 2900	-
Total									2

Explosion Skenario 10-50 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Effect (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)				Pressure (psi)	Fatality (N)
				Red	Orange	Yellow	Tolerable		
1	GVU System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	-	< 1.0	-
		Engine Room	3	-	-	3/74 m/60 s	-	1.0 - 3.5	3
		Upper Deck	4	-	-	1/31 m/60 s	-	1.0 - 3.5	1
		A Deck	4	-	-	1/31 m/60 s	-	1.0 - 3.5	1
		B Deck	8	-	-	4/31 m/60 s	-	1.0 - 3.5	4
		C Deck	5	-	-	1/31 m/60 s	-	1.0 - 3.5	1
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	1/31 m/60 s	-	1.0 - 3.5	1
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- /-	< 1.0	-
Total									11

Explosion Skenario 50-150 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Effect (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)				Pressure (psi)	Fatality (N)
				Red	Orange	Yellow	Tolerable		
1	GVU System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	-	< 1.0	-
		Engine Room	3	-	-	3/253 m/60 s	-	1.0 - 3.5	3
		Upper Deck	4	-	-	1/253m/60 s	-	1.0 - 3.5	1
		A Deck	4	-	-	1/253 m/60 s	-	1.0 - 3.5	1
		B Deck	8	-	-	4/253 m/60 s	-	1.0 - 3.5	4
		C Deck	5	-	-	1/253 m/60 s	-	1.0 - 3.5	1
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	1/253 m/60 s	-	1.0 - 3.5	1
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- /-	< 1.0	-
Total									11

Flash Fire Skenario 1-3 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m²)	Fatality (N)
				First	Second	Third	Tolerable		
1	GVU System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	2/- /-	< 2900	-
		Engine Room	3	3/12 m/60 s	-	-	-	> 17000	3
		Upper Deck	4	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		A Deck	4	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		B Deck	8	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		C Deck	5	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Compass Deck	1	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
Total									3

Flash Fire Skenario 3-10 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m²)	Fatality (N)
				First	Second	Third	Tolerable		
1	GVU System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	2/- /-	< 2900	-
		Engine Room	3	3/12 m/60 s	-	-	-	> 17000	3
		Upper Deck	4	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		A Deck	4	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		B Deck	8	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		C Deck	5	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Compass Deck	1	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
Total									3

Jet Fire Skenario 3-10 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m²)	Fatality (N)
				Red	Orange	Yellow	Tolerable		
1	GVU System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	2/- /-	< 2.0	-
		Engine Room	3	3/10 m/60 s	-	-	-	> 10	3
		Upper Deck	4	-	-	-	4/- /-	< 2.0	-
		A Deck	4	-	-	-	4/- /-	< 2.0	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- /-	< 2.0	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- /-	< 2.0	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 2.0	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- /-	< 2.0	-
Total									3

Gas Dispersion Skenario 3-10 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Protective Action Criteria (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)				PPM	Fatality (N)
				PAC-3	PAC-2	PAC-1	Tolerable		
1	GVU System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	2/- /-	< 2900	-
		Engine Room	3	3/11 m/60 s	-	-	-	> 17000	3
		Upper Deck	4	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		A Deck	4	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		B Deck	8	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		C Deck	5	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Compass Deck	1	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
Total									3

Flash Fire Skenario 10-50 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m ²)	Fatality (N)
				First	Second	Third	Tolerable		
1	GVU System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	2/- /-	< 2900	-
		Engine Room	3	3/90 m/60 s	-	-	-	> 17000	3
		Upper Deck	4	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		A Deck	4	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		B Deck	8	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		C Deck	5	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Compass Deck	1	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
Total									3

Flash Fire Skenario 50-150 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m ²)	Fatality (N)
				First	Second	Third	Tolerable		
1	GVU System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	2/- /-	< 2900	-
		Engine Room	3	3/332 m/60 s	-	-	-	> 17000	3
		Upper Deck	4	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		A Deck	4	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		B Deck	8	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		C Deck	5	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Compass Deck	1	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
Total									3

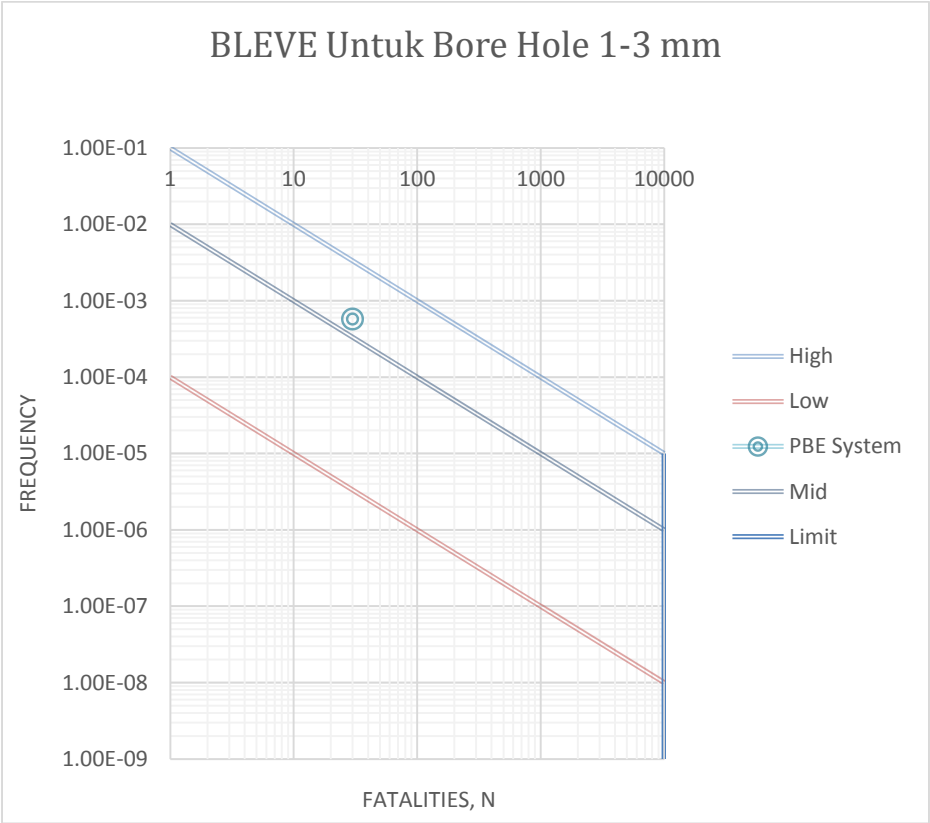
Jet Fire Skenario 50-150 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Burn Degree (Jumlah orang terdampak/Radius/Waktu)				Heat Flux (kW/m ²)	Fatality (N)
				Red	Orange	Yellow	Tolerable		
1	GVU System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	2/- /-	-	-
		Engine Room	3	3/29 m/60 s	-	-	-	> 10	3
		Upper Deck	4	4/29 m/60 s	-	-	-	> 10	4
		A Deck	4	-	-	-	4/- /-	< 2.0	-
		B Deck	8	-	-	-	8/- /-	< 2.0	-
		C Deck	5	-	-	-	5/- /-	< 2.0	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 2.0	-
		Compass Deck	1	-	-	-	1/- /-	< 2.0	-
Total									7

Gas Dispersion Skenario 50-150 mm									
No.	System	Location	Jumlah Orang	Protective Action Criteria (Jumlah orang terdampak/Jangkauan/Waktu)				PPM	Fatality (N)
				PAC-3	PAC-2	PAC-1	Tolerable		
1	GVU System	Cargo/Open Deck	2	-	-	-	2/- /-	< 2900	-
		Engine Room	3	3/331 m/60 s	-	-	-	> 17000	3
		Upper Deck	4	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		A Deck	4	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		B Deck	8	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		C Deck	5	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Nav. Bri. Deck	3	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
		Compass Deck	1	-	-	-	3/- /-	< 2900	-
Total									3

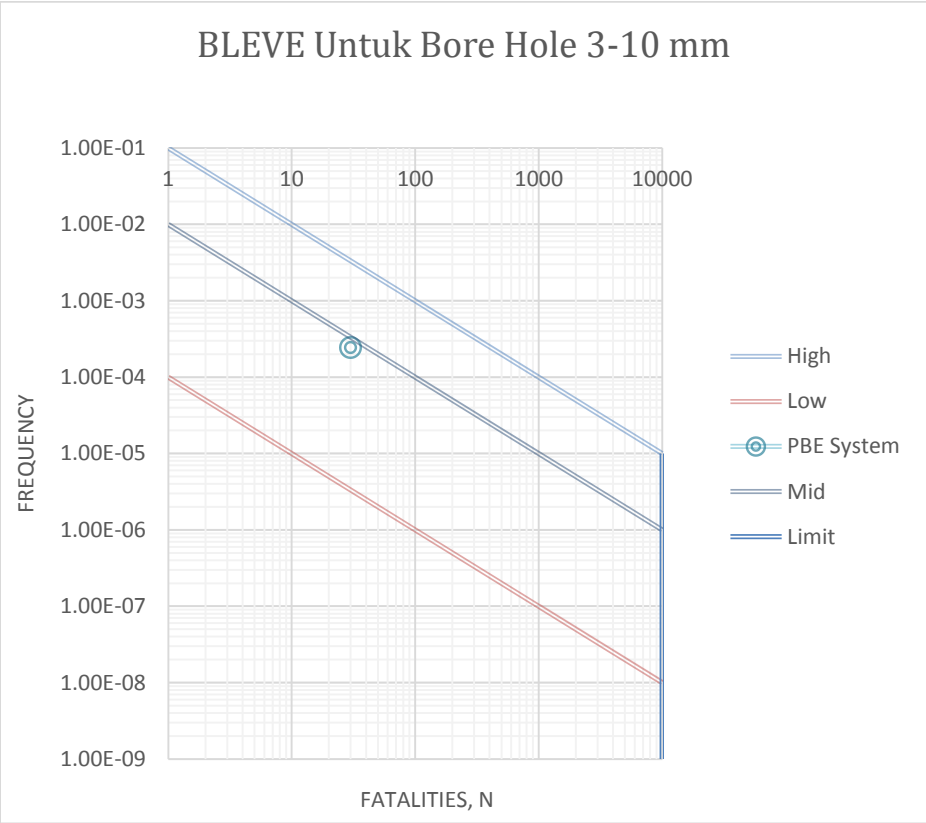
Lampiran Penilaian Risiko

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Skenario BLEVE Pada Bore Hole 1-3 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	30	5.76E-04	5.76E-04
2	MGE System	0	0.00E+00	5.76E-04
3	GVU System	0	0.00E+00	5.76E-04

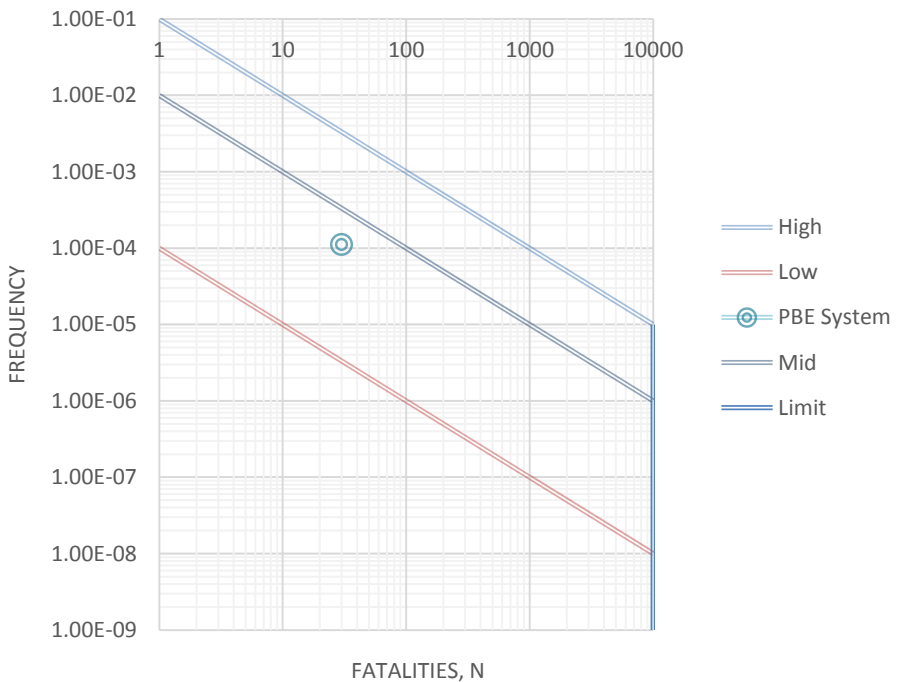


Skenario BLEVE Pada Bore Hole 3-10 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	30	2.43E-04	2.43E-04
2	MGE System	0	0.00E+00	2.43E-04
3	GVU System	0	0.00E+00	2.43E-04

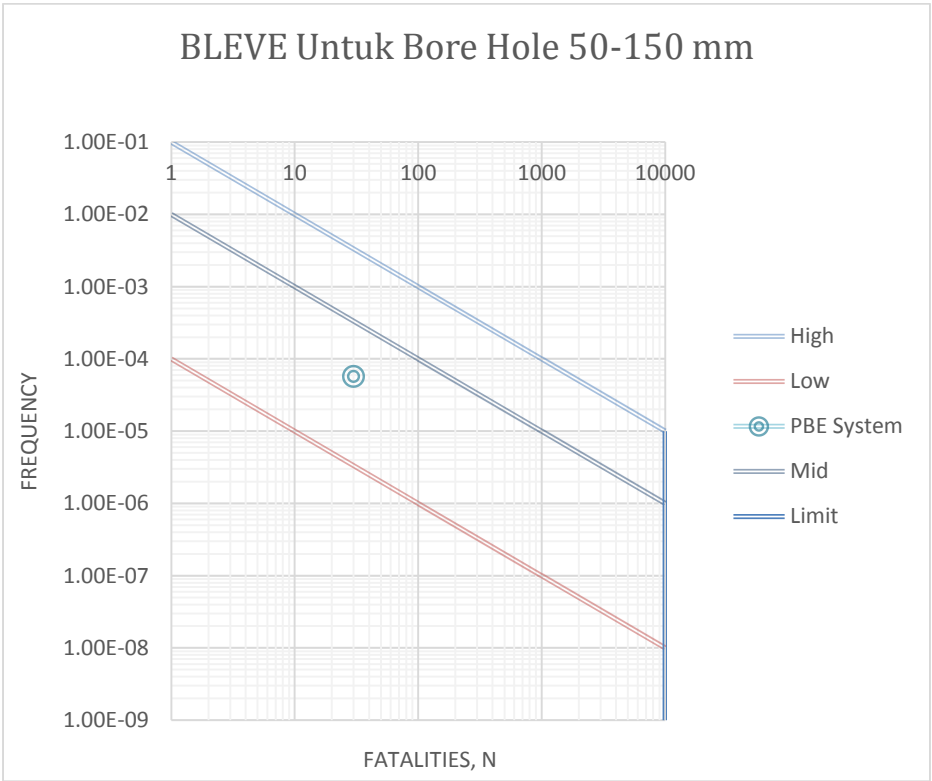


Skenario BLEVE Pada Bore Hole 10-50 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	30	1.11E-04	1.11E-04
2	MGE System	0	0.00E+00	1.11E-04
3	GVU System	0	0.00E+00	1.11E-04

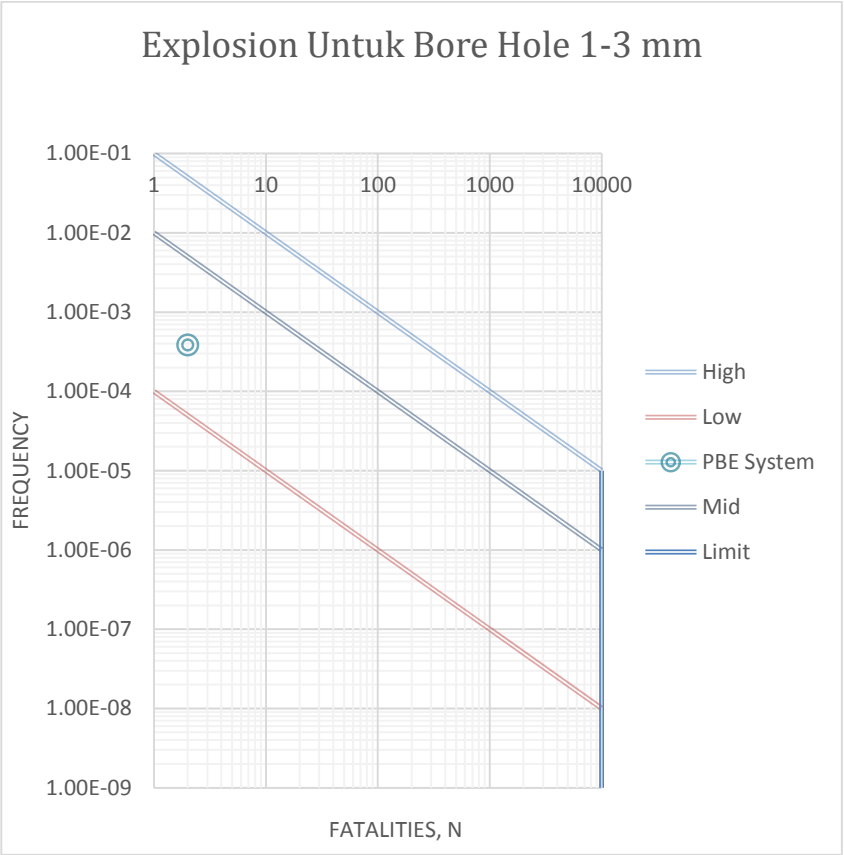
BLEVE Untuk Bore Hole 10-50 mm



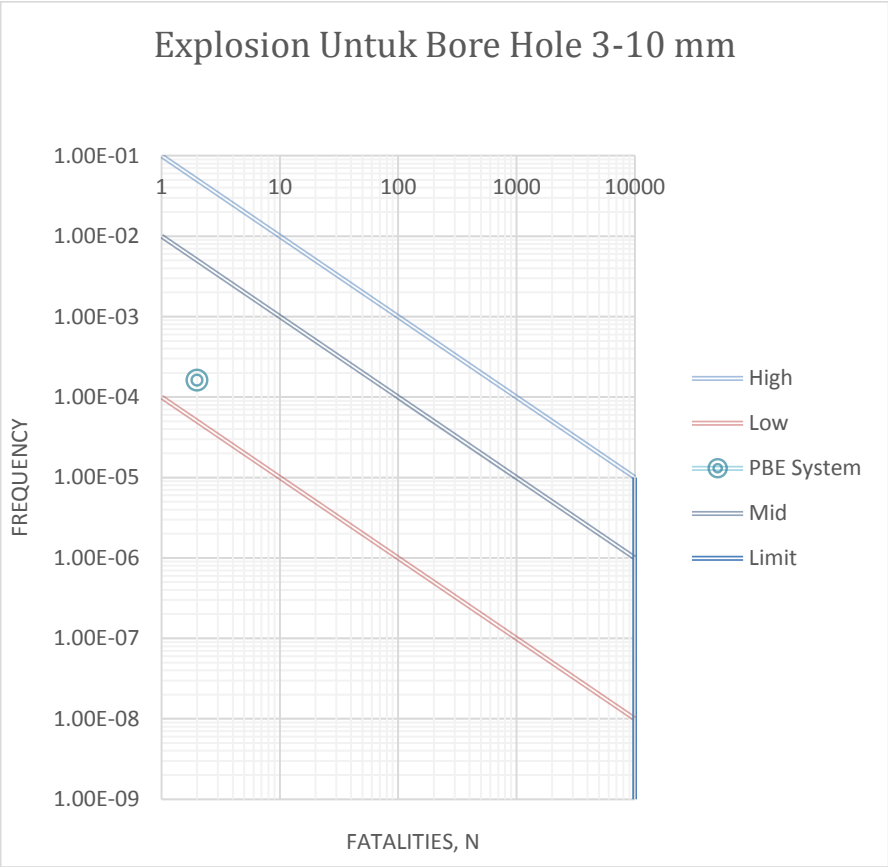
Skenario BLEVE Pada Bore Hole 50-150 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	30	5.70E-05	5.70E-05
2	MGE System	0	0.00E+00	5.70E-05
3	GVU System	0	0.00E+00	5.70E-05



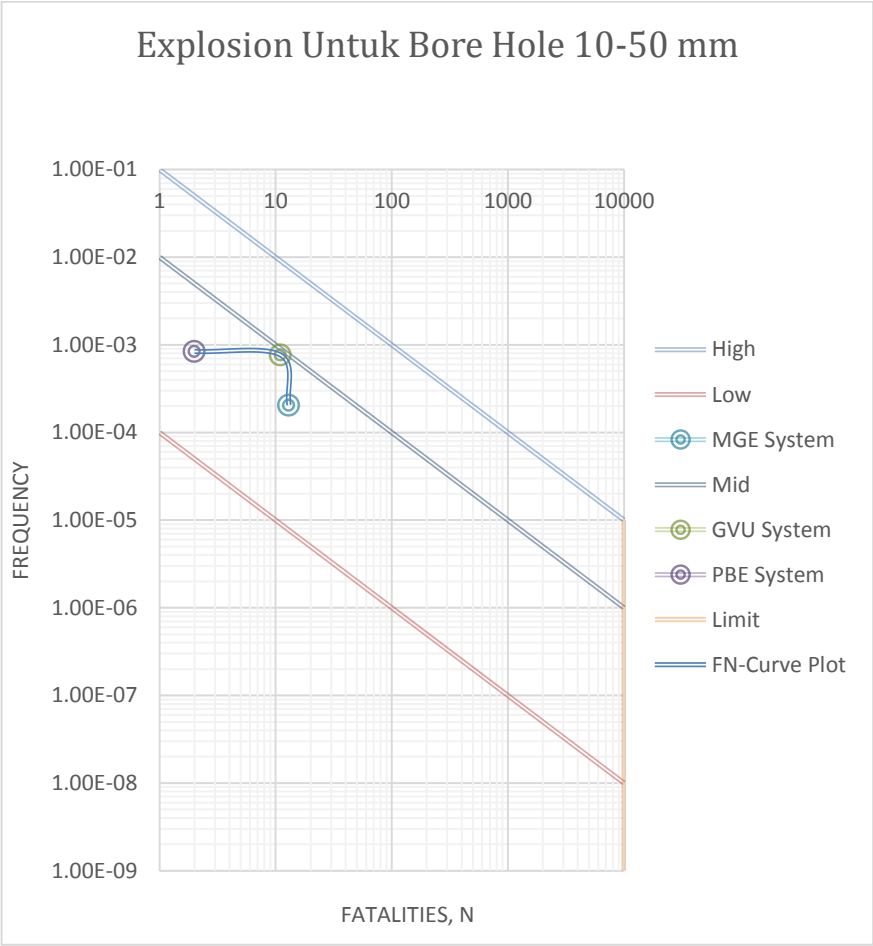
Skenario Explosion Pada Bore Hole 1-3 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	2	3.84E-04	3.84E-04
2	MGE System	0	1.07E-03	1.45E-03
3	GVU System	0	3.22E-03	4.67E-03



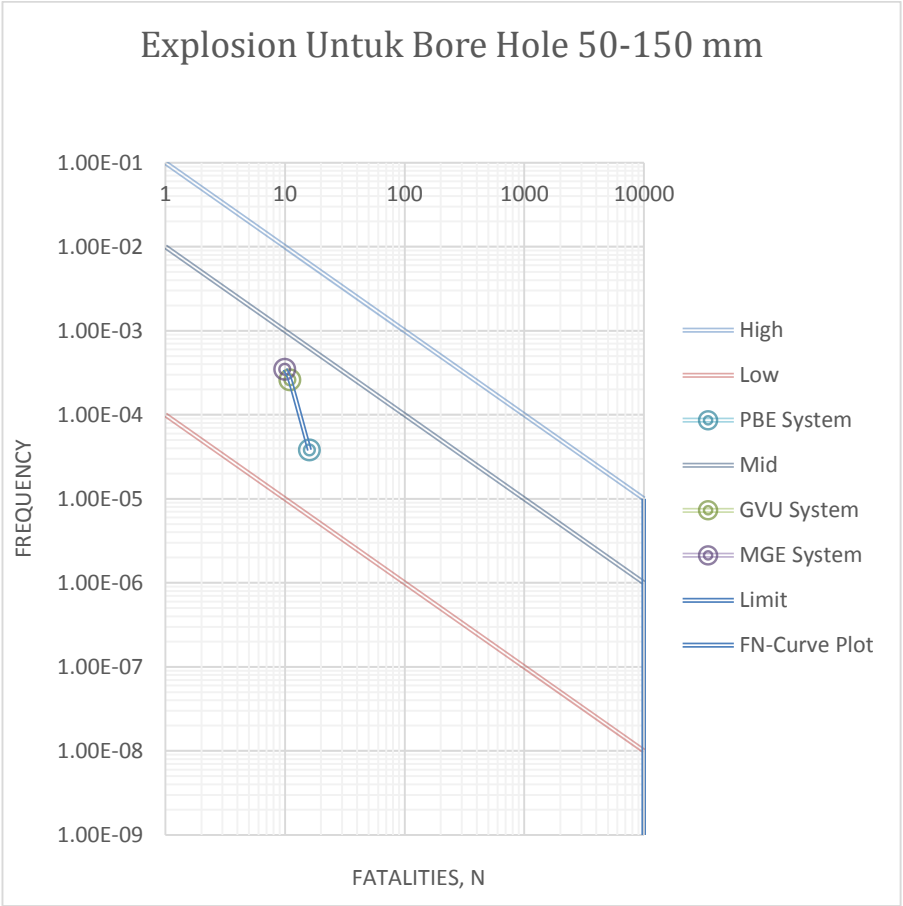
Skenario Explosion Pada Bore Hole 3-10 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	2	1.62E-04	1.62E-04
2	MGE System	0	4.47E-04	6.09E-04
3	GVU System	0	1.32E-03	1.93E-03



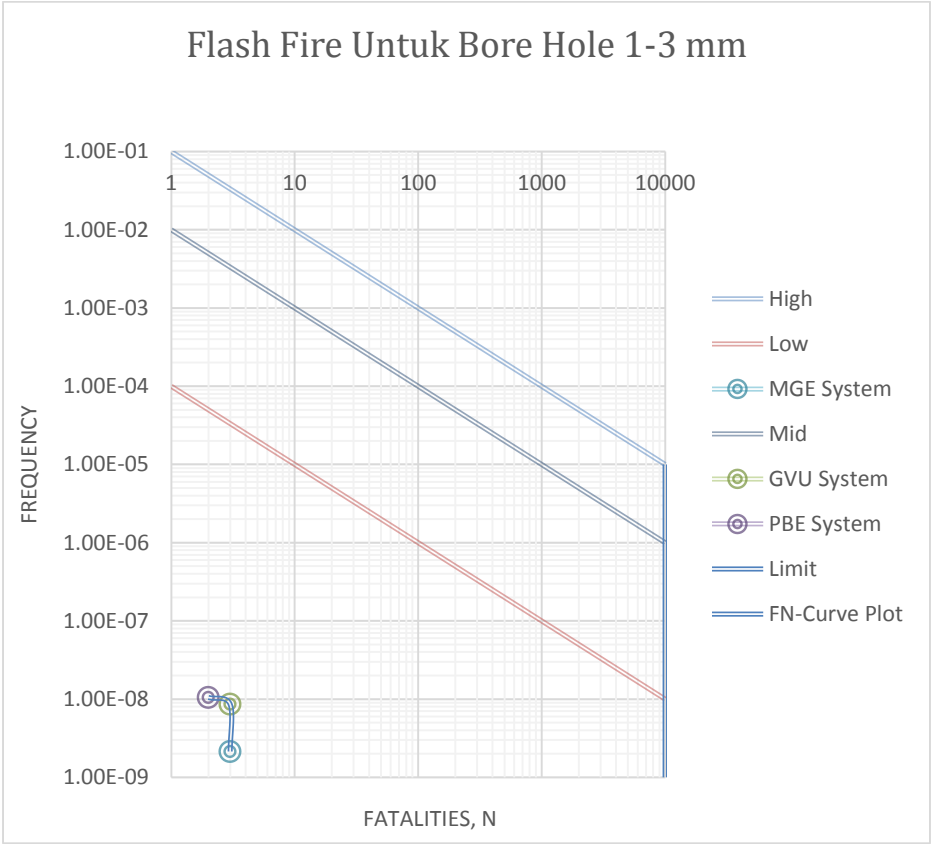
Skenario Explosion Pada Bore Hole 10-50 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	MGE System	13	2.05E-04	2.05E-04
2	GVU System	11	5.61E-04	7.67E-04
3	PBE System	2	7.43E-05	8.41E-04



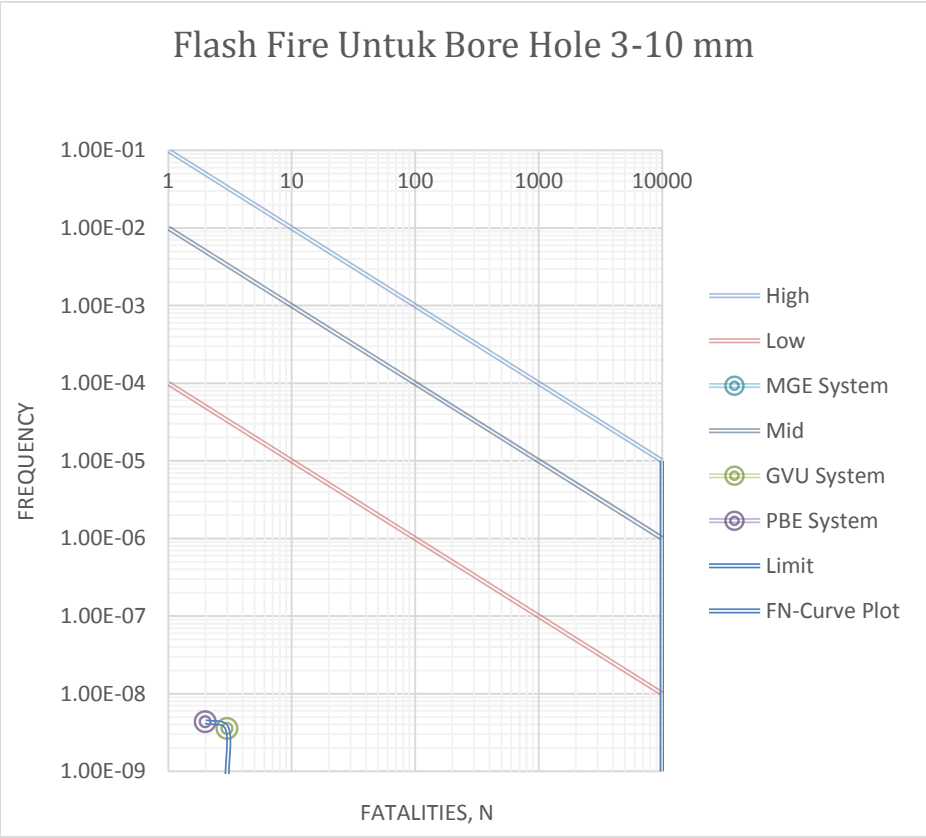
Skenario Explosion Pada Bore Hole 50-150 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	16	3.80E-05	3.80E-05
2	GVU System	11	2.22E-04	2.60E-04
3	MGE System	10	8.86E-05	3.48E-04



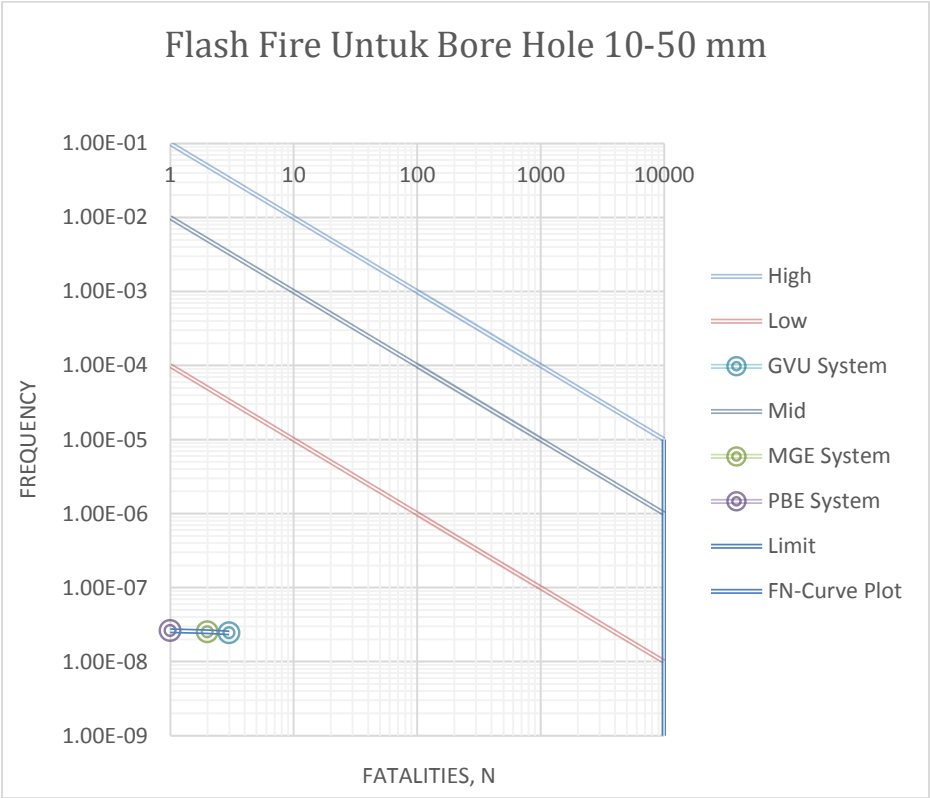
Skenario Flash Fire Pada Bore Hole 1-3 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	MGE System	3	2.14E-09	2.14E-09
2	GVU System	3	6.44E-09	8.58E-09
3	PBE System	2	1.92E-09	1.05E-08



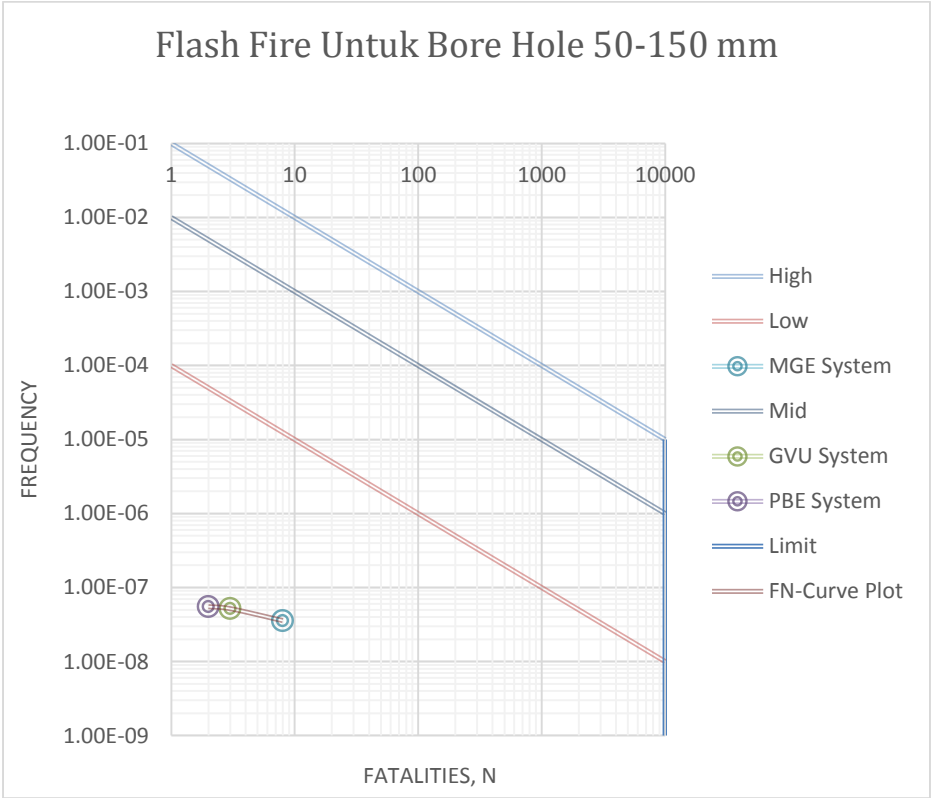
Skenario Flash Fire Pada Bore Hole 3-10 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	MGE System	3	8.95E-10	8.95E-10
2	GVU System	3	2.65E-09	3.55E-09
3	PBE System	2	8.11E-10	4.36E-09



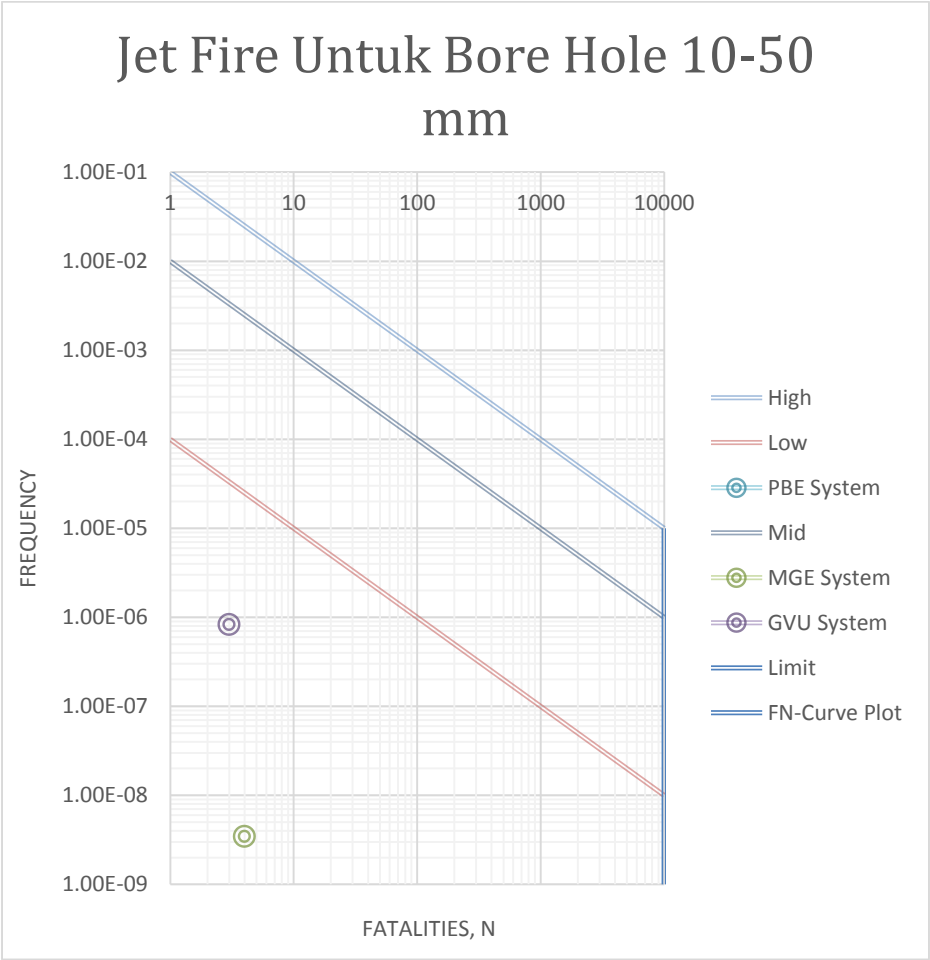
Skenario Flash Fire Pada Bore Hole 10-50 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	GVU System	3	2.44E-08	2.44E-08
2	MGE System	2	9.06E-10	2.53E-08
3	PBE System	1	8.19E-10	2.62E-08



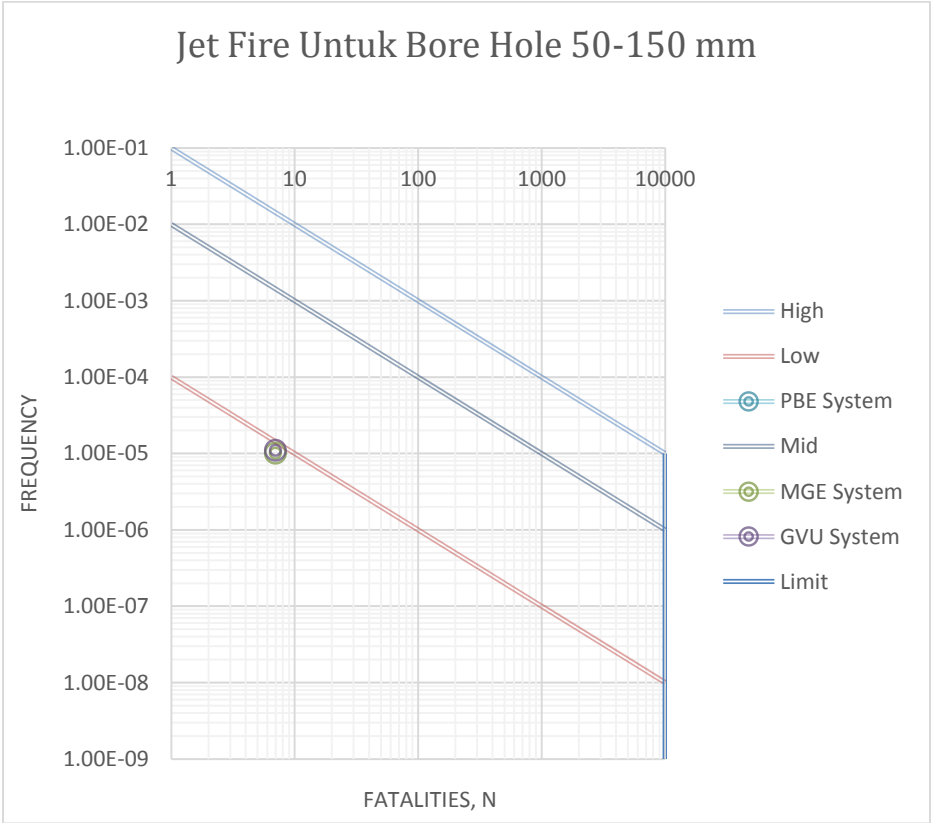
Skenario Flash Fire Pada Bore Hole 50-150 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	MGE System	8	3.58E-08	3.58E-08
2	GVU System	3	1.61E-08	5.18E-08
3	PBE System	2	3.24E-09	5.51E-08



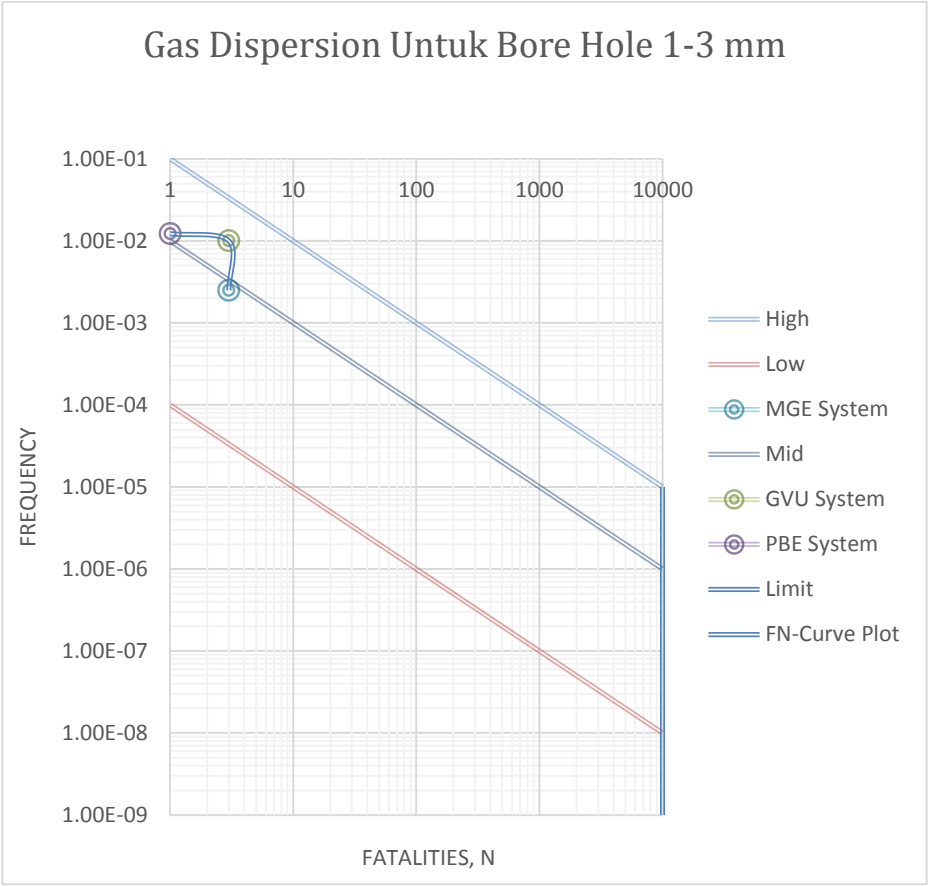
Skenario Jet Fire Pada Bore Hole 10-50 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	0	1.64E-09	1.64E-09
2	MGE System	4	1.81E-09	3.45E-09
3	GVU System	3	8.27E-07	8.30E-07



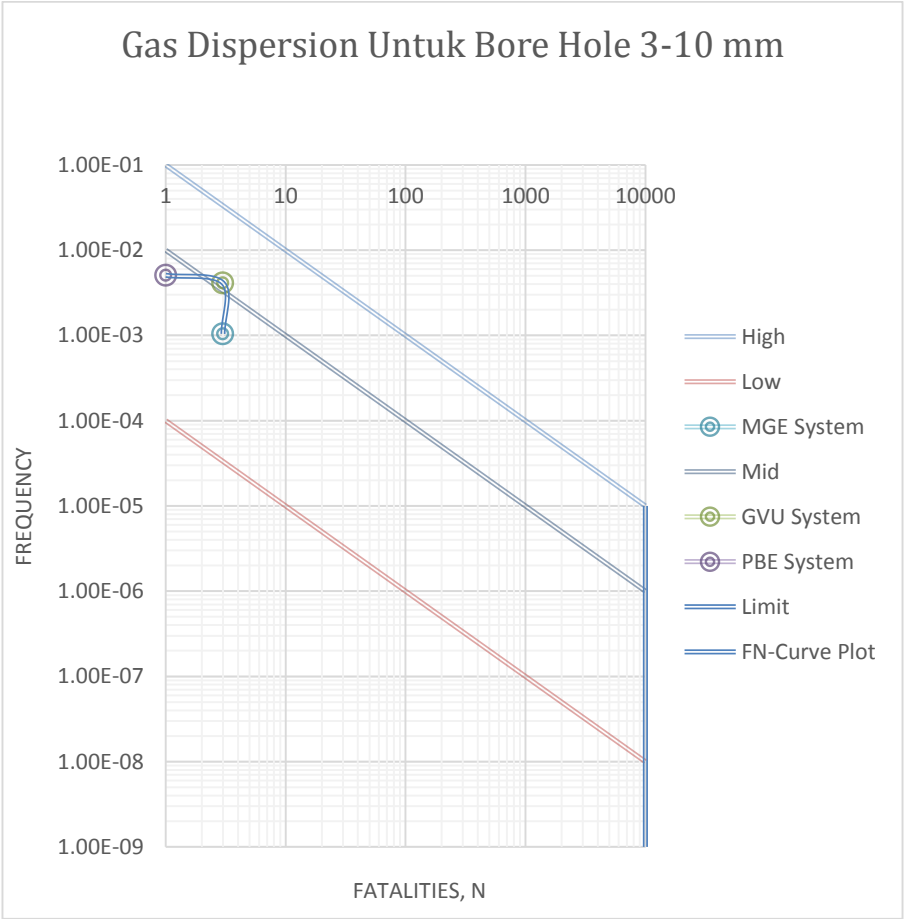
Skenario Jet Fire Pada Bore Hole 50-150 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	0	8.55E-08	8.55E-08
2	MGE System	7	9.95E-06	1.00E-05
3	GVU System	7	9.11E-07	1.10E-05



Skenario Gas Dispersion Pada Bore Hole 1-3 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	MGE System	3	2.49E-03	2.49E-03
2	GVU System	3	7.51E-03	1.00E-02
3	PBE System	1	2.24E-03	1.22E-02

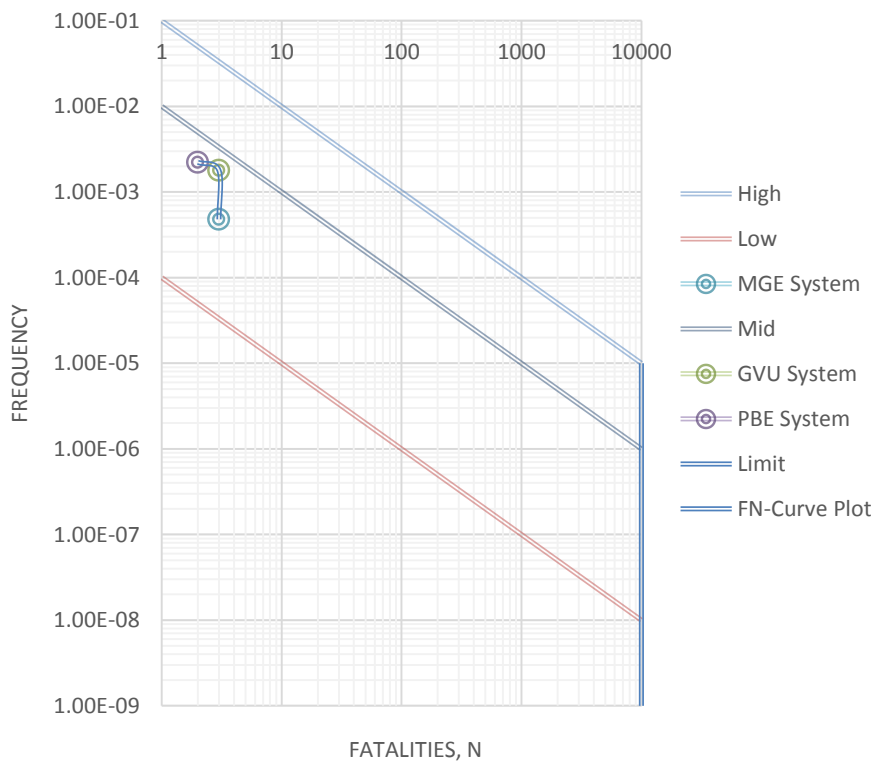


Skenario Gas Dispersion Pada Bore Hole 3-10 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	MGE System	3	1.04E-03	1.04E-03
2	GVU System	3	3.09E-03	4.13E-03
3	PBE System	1	9.45E-04	5.08E-03

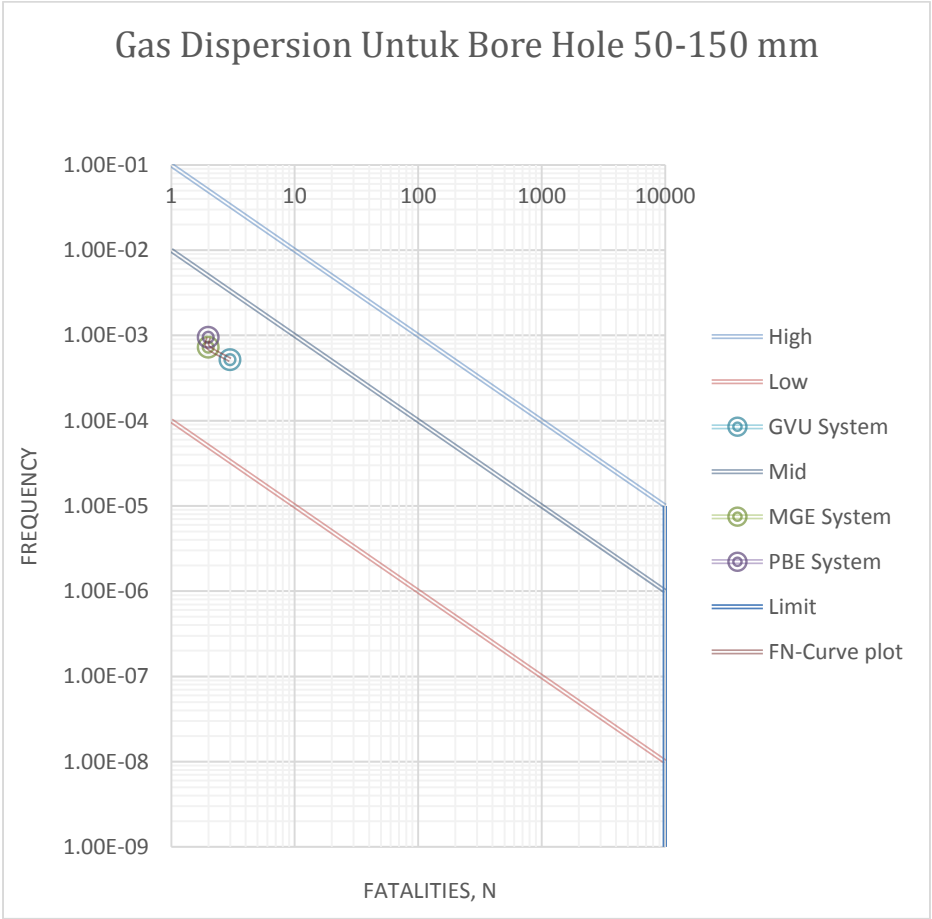


Skenario Gas Dispersion Pada Bore Hole 10-50 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	MGE System	3	4.79E-04	4.79E-04
2	GVU System	3	1.31E-03	1.79E-03
3	PBE System	2	4.33E-04	2.22E-03

Gas Dispersion Untuk Bore Hole 10-50 mm



Skenario Gas Dispersion Pada Bore Hole 50-150 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	GVU System	3	5.17E-04	5.17E-04
2	MGE System	2	2.07E-04	7.24E-04
3	PBE System	2	2.22E-04	9.45E-04

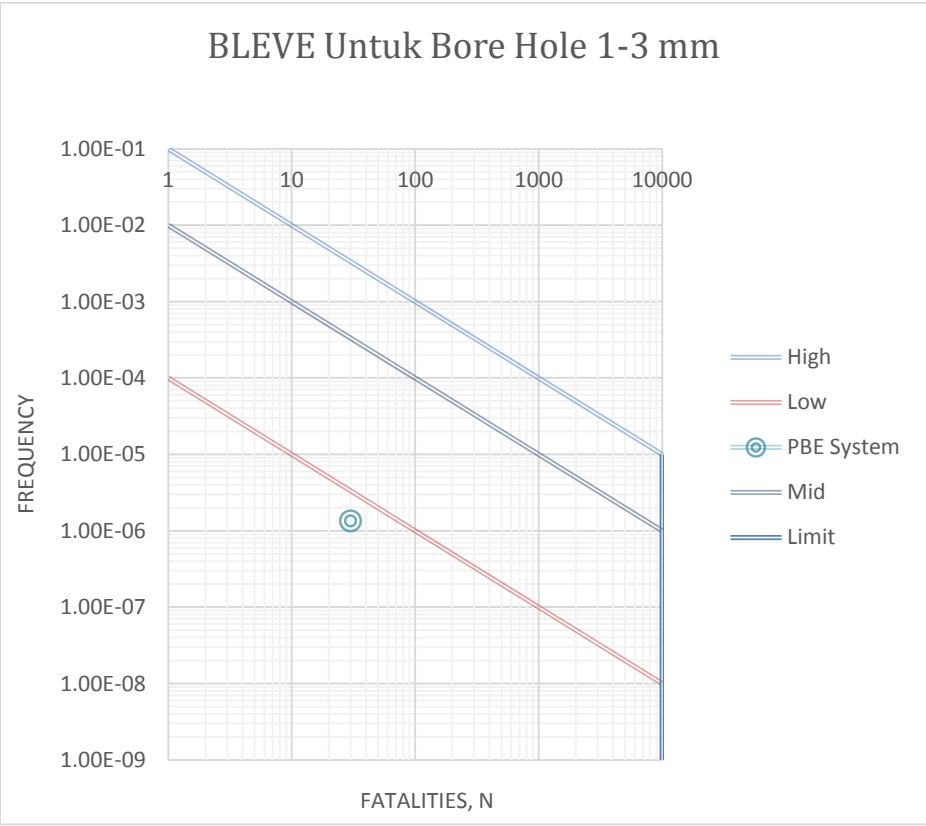


Lampiran Mitigasi LOPA

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

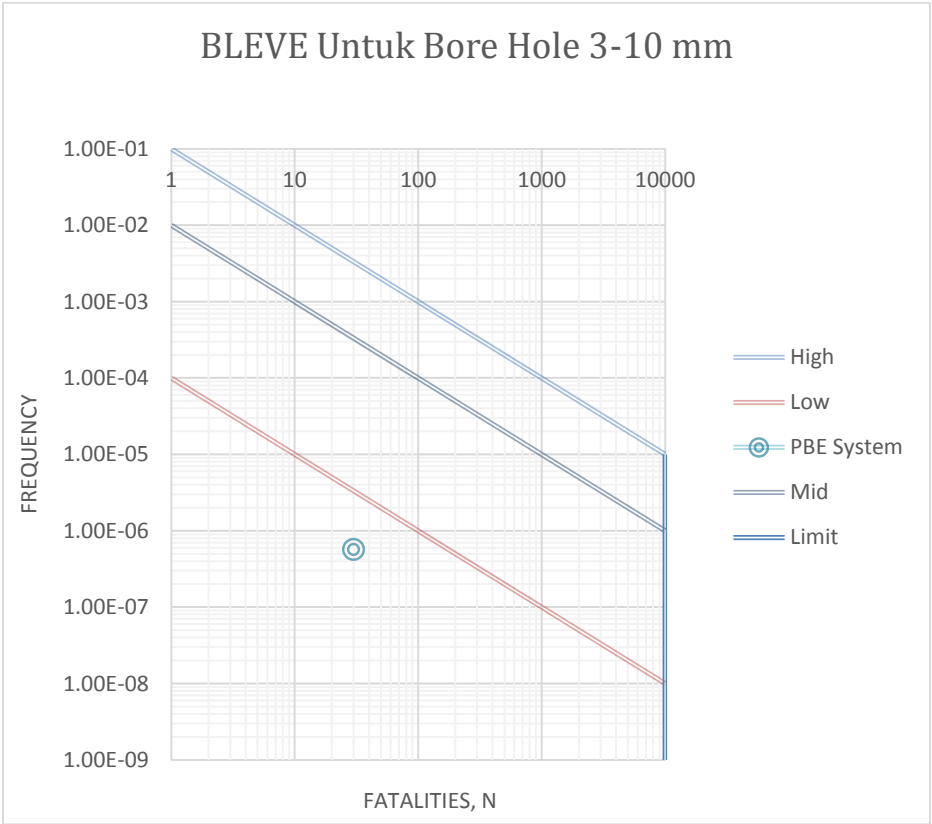
Scenario BLEVE	Scenario Title: BLEVE on PBE System Bore Hole 1-3 mm		Sytem Number : 1	
Date	Description	Probabilit y	Frequency (Per Year)	
Consequence Description	LNG storage, pipe or equipment in PBE System leak because overpressure and lead to fire or explosion			
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03	
	Tolerable		1.00E-05	
Initiating Event (Frequency)	Gas release from PBE system		3.20E-03	
Enabling Event or Condition	N/A			
Conditional Modifiers	No Ignition probability	9.99E-01		
	BLEVE Probability	3.00.E-01		
	No Explosion	6.00.E-01		
Frequency of Unmitigated Consequence			5.76E-04	
	Temperature alarm	5.52E-02		
	Pressure alarm	4.22E-02		
Total PFD for all IPLs		2.33E-03		
Frequency of Mitigated Consequence			1.34E-06	
Risk Status		ACCEPTABLE		
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install pressure and temperature alarm as IPL to reduce risk			
Notes				
References				

Skenario BLEVE Pada Bore Hole 1-3 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	30	1.34E-06	1.34E-06
2	MGE System	0	0.00E+00	1.34E-06
3	GVU System	0	0.00E+00	1.34E-06



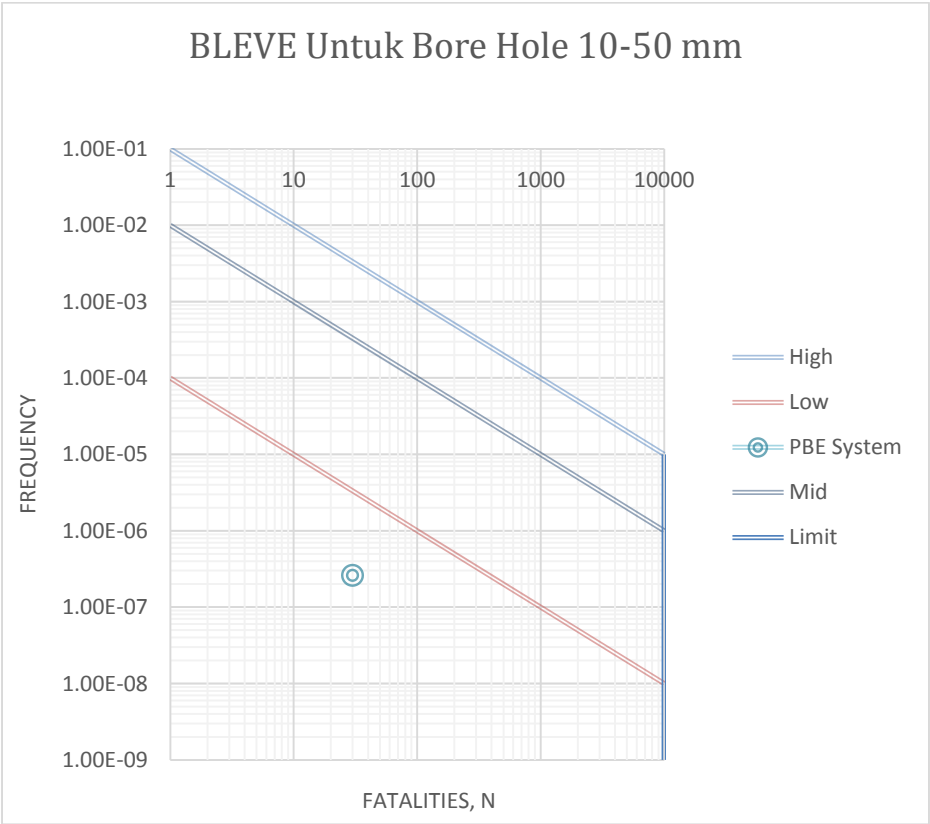
Scenario BLEVE	Scenario Title: BLEVE on PBE System Bore Hole 3-10 mm		Sytem Number : 1	
Date	Description	Probabilit y	Frequency (Per Year)	
Consequence Description	LNG storage, pipe or equipment in PBE System leak because overpressure and lead to fire or explosion			
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03	
	Tolerable		1.00E-05	
Initiating Event (Frequency)	Gas release from PBE system		1.35E-03	
Enabling Event or Condition	N/A			
Conditional Modifiers	No Ignition probability	9.99E-01		
	BLEVE Probability	3.00.E-01		
	No Explosion	6.00.E-01		
Frequency of Unmitigated Consequence			2.43E-04	
	Temperature alarm	5.52E-02		
	Pressure alarm	4.22E-02		
Total PFD for all IPLs		2.33E-03		
Frequency of Mitigated Consequence			5.66E-07	
Risk Status		ACCEPTABLE		
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install pressure and temperature alarm as IPL to reduce risk			
Notes				
References				

Skenario BLEVE Pada Bore Hole 3-10 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	30	5.66E-07	5.66E-07
2	MGE System	0	0.00E+00	5.66E-07
3	GVU System	0	0.00E+00	5.66E-07



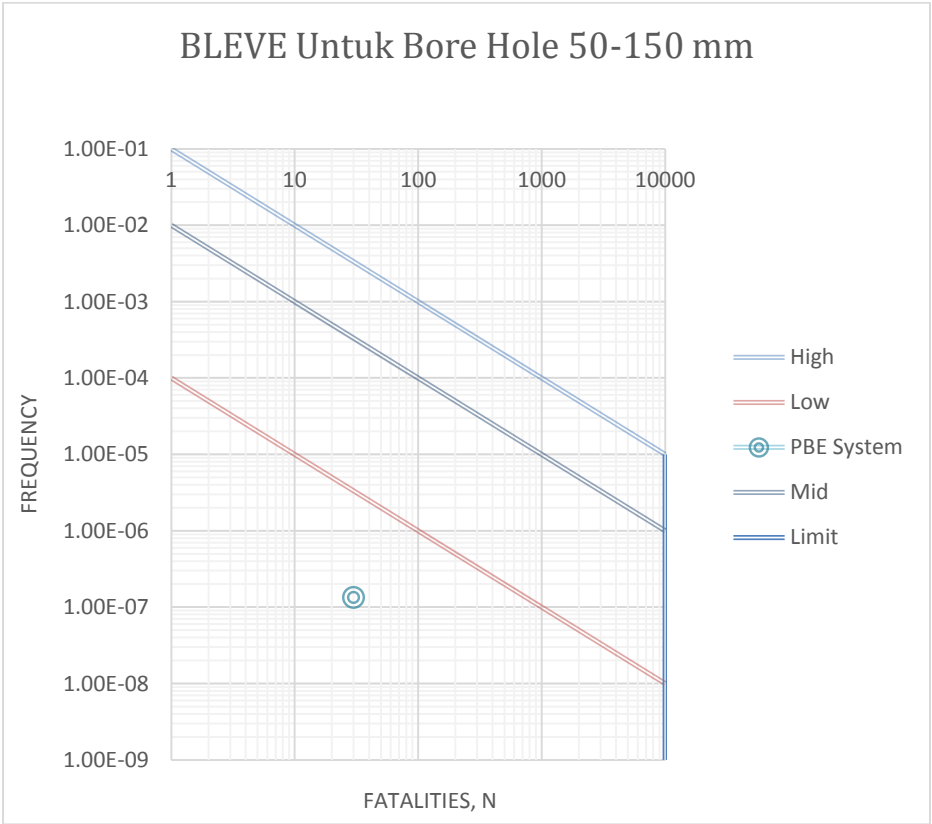
Scenario BLEVE	Scenario Title: BLEVE on PBE System Bore Hole 10-50 mm		Sytem Number : 1	
Date	Description		Probabilit y	Frequency (Per Year)
Consequence Description	LNG storage, pipe or equipment in PBE System leak because overpressure and lead to fire or explosion			
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required			1.00E-03
	Tolerable			1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas release from PBE system			6.20E-04
Enabling Event or Condition	N/A			
Conditional Modifiers	No Ignition probability		9.98E-01	
	BLEVE Probability		3.00.E-01	
	No Explosion		6.00.E-01	
Frequency of Unmitigated Consequence				1.11E-04
	Temperature alarm		5.52E-02	
	Pressure alarm		4.22E-02	
Total PFD for all IPLs			2.33E-03	
Frequency of Mitigated Consequence				2.60E-07
Risk Status			ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install pressure and temperature alarm as IPL to reduce risk			
Notes				
References				

Skenario BLEVE Pada Bore Hole 10-50 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	30	2.60E-07	2.60E-07
2	MGE System	0	0.00E+00	2.60E-07
3	GVU System	0	0.00E+00	2.60E-07



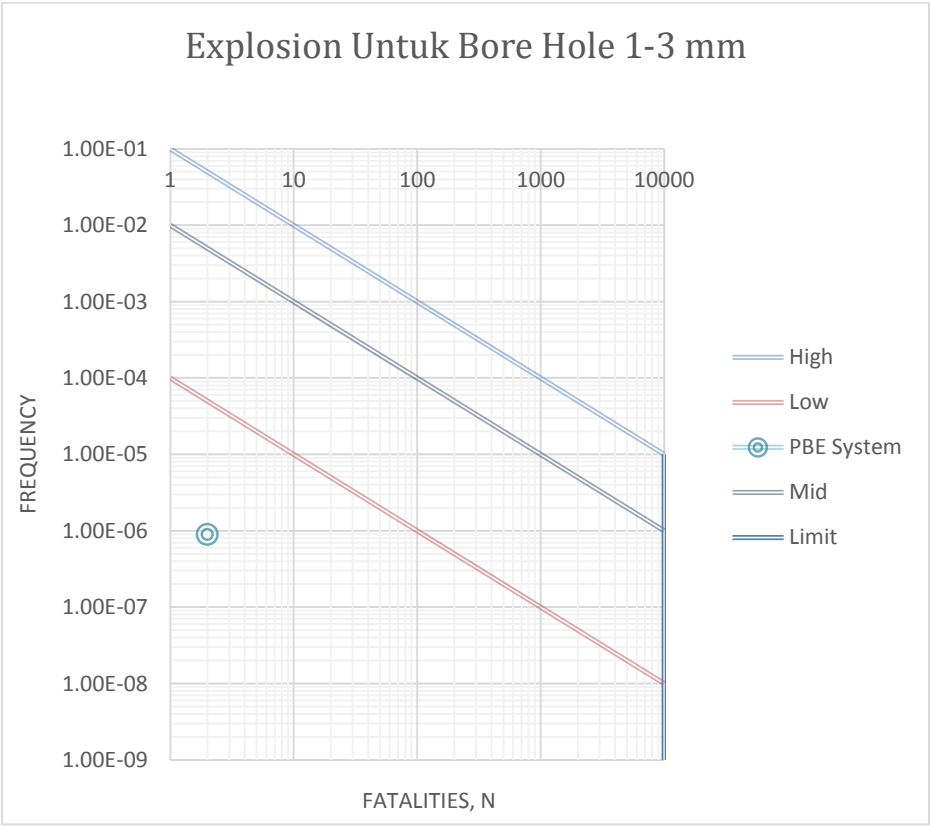
Scenario BLEVE	Scenario Title: BLEVE on PBE System Bore Hole 10-50 mm		Sytem Number : 1	
Date	Description		Probabilit y	Frequency (Per Year)
Consequence Description	LNG storage, pipe or equipment in PBE System leak because overpressure and lead to fire or explosion			
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required			1.00E-03
	Tolerable			1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas release from PBE system			3.22E-04
Enabling Event or Condition	N/A			
Conditional Modifiers	No Ignition probability		9.83E-01	
	BLEVE Probability		3.00.E-01	
	No Explosion		6.00.E-01	
Frequency of Unmitigated Consequence				5.70E-05
	Temperature alarm		5.52E-02	
	Pressure alarm		4.22E-02	
Total PFD for all IPLs			2.33E-03	
Frequency of Mitigated Consequence				1.33E-07
Risk Status			ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install pressure and temperature alarm as IPL to reduce risk			
Notes				
References				

Skenario BLEVE Pada Bore Hole 50-150 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	30	1.33E-07	1.33E-07
2	MGE System	0	0.00E+00	1.33E-07
3	GVU System	0	0.00E+00	1.33E-07



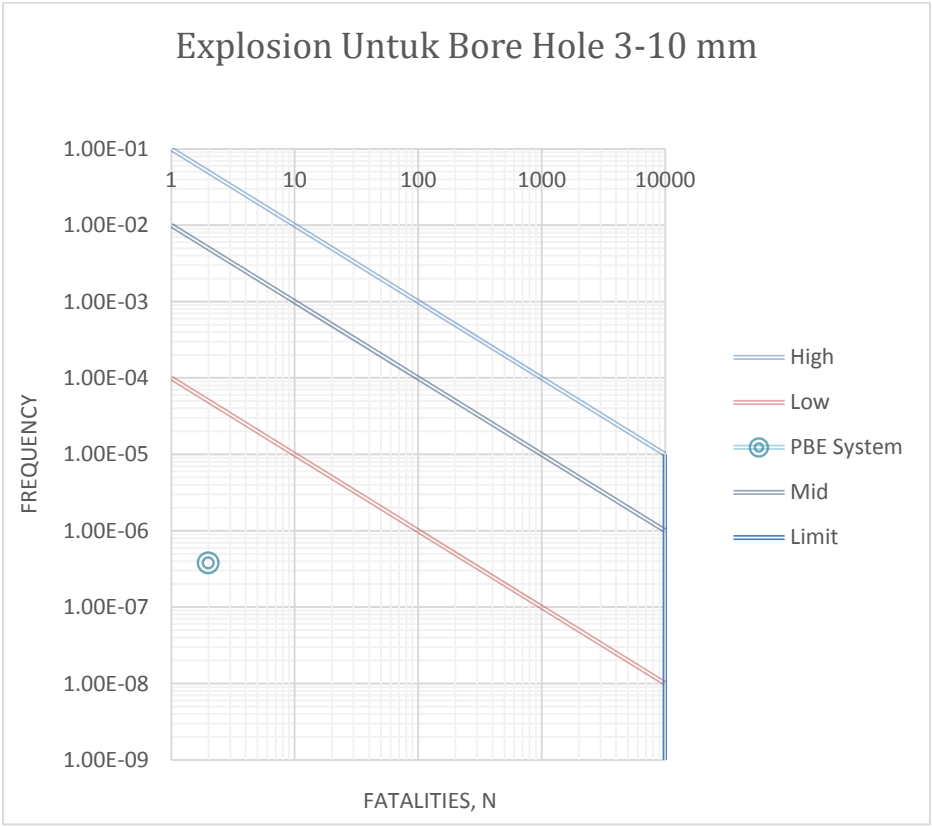
Scenario Explosions	Scenario Title: Explosion on PBE System Bore Hole 1-3 mm		Sytem Number : 1	
Date	Description	Probabilit y	Frequency (Per Year)	
Consequence Description	LNG storage, pipe or equipment in PBE System leak because overpressure and lead to fire or explosion			
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03	
	Tolerable		1.00E-05	
Initiating Event (Frequency)	Explosion from PBE system		3.84E-04	
Enabling Event or Condition	N/A			
Conditional Modifiers	N/A			
Frequency of Unmitigated Consequence			3.84E-04	
	Temperature alarm	5.52E-02		
	Pressure alarm	4.22E-02		
Total PFD for all IPLs		2.33E-03		
Frequency of Mitigated Consequence			8.94E-07	
Risk Status		ACCEPTABLE		
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install pressure and temperature alarm as IPL to reduce risk			
Notes				
References				

Skenario Explosion Pada Bore Hole 1-3 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	2	8.94E-07	8.94E-07
2	MGE System	0	1.07E-03	1.07E-03
3	GVU System	0	3.22E-03	4.29E-03



Scenario Explosions	Scenario Title: Explosion on PBE System Bore Hole 3-10 mm	Sytem Number : 1	
Date	Description	Probabilit y	Frequency (Per Year)
Consequence Description	LNG storage, pipe or equipment in PBE System leak because overpressure and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Explosion from PBE system		1.62E-04
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			1.62E-04
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		2.33E-03	
Frequency of Mitigated Consequence			3.77E-07
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install pressure and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

Skenario Explosion Pada Bore Hole 3-10 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	2	3.77E-07	3.77E-07
2	MGE System	0	4.47E-04	4.47E-04
3	GVU System	0	1.32E-03	1.77E-03

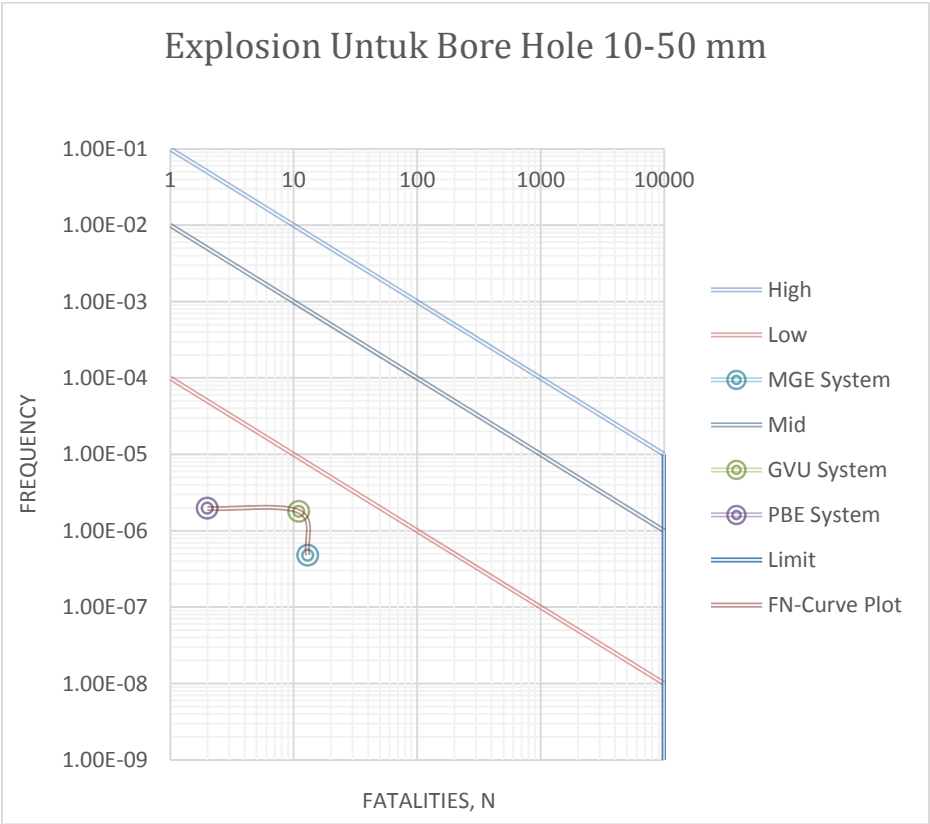


Scenario Explosions	Scenario Title: Explosion on PBE System Bore Hole 10-50 mm	Sytem Number : 1	
Date	Description	Probabilit y	Frequency (Per Year)
Consequence Description	LNG storage, pipe or equipment in PBE System leak because overpressure and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Explosion from PBE system		7.43E-05
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			7.43E-05
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		2.33E-03	
Frequency of Mitigated Consequence			1.73E-07
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install pressure and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

Scenario Explosions	Scenario Title: Explosion on MGE System Bore Hole 10-50 mm	Sytem Number : 2	
Date	Description	Probabilit y	Frequency (Per Year)
Consequence Description	Pipe or equipment in MGE System leakage and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Explosion from MGE system		2.05E-04
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			2.05E-04
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		2.33E-03	
Frequency of Mitigated Consequence			4.78E-07
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install pressure and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

Scenario Explosions	Scenario Title: Explosion on GUV System Bore Hole 10-50 mm	Systen Number : 3	
Date	Description	Probabilit y	Frequency (Per Year)
Consequence Description	Pipe or equipment in GUV System leakage and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Explosion from GUV system		5.61E-04
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			5.61E-04
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		2.33E-03	
Frequency of Mitigated Consequence			1.31E-06
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install pressure and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			

Skenario Explosion Pada Bore Hole 10-50 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	MGE System	13	4.78E-07	4.78E-07
2	GVU System	11	1.31E-06	1.79E-06
3	PBE System	2	1.73E-07	1.96E-06

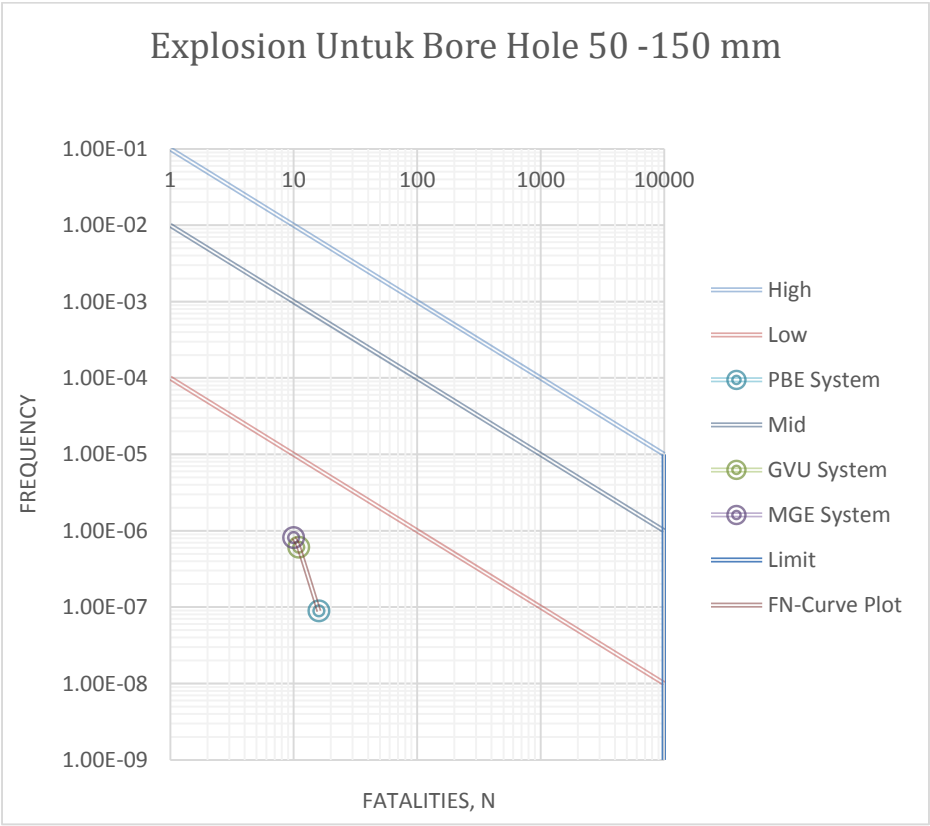


Scenario Explosions	Scenario Title: Explosion on PBE System Bore Hole 50-150 mm	Sytem Number : 1	
Date	Description	Probabilit y	Frequency (Per Year)
Consequence Description	LNG storage, pipe or equipment in PBE System leak because overpressure and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Explosion from PBE system		3.80E-05
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			3.80E-05
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		2.33E-03	
Frequency of Mitigated Consequence			8.85E-08
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install pressure and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

Scenario Explosions	Scenario Title: Explosion on MGE System Bore Hole 50-150 mm	Sytem Number : 2	
Date	Description	Probabilit y	Frequency (Per Year)
Consequence Description	Pipe or equipment in MGE System leakage and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Explosion from MGE system		8.86E-05
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			8.86E-05
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		2.33E-03	
Frequency of Mitigated Consequence			2.06E-07
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install pressure and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

Scenario Explosions	Scenario Title: Explosion on GUV System Bore Hole 50-150 mm	System Number : 3	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	Pipe or equipment in GUV System leakage and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Explosion from GUV system		2.22E-04
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			2.22E-04
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		2.33E-03	
Frequency of Mitigated Consequence			5.16E-07
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install pressure and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			

Skenario Explosion Pada Bore Hole 50-150 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	PBE System	16	8.85E-08	8.85E-08
2	GVU System	11	5.16E-07	6.05E-07
3	MGE System	10	2.06E-07	8.11E-07

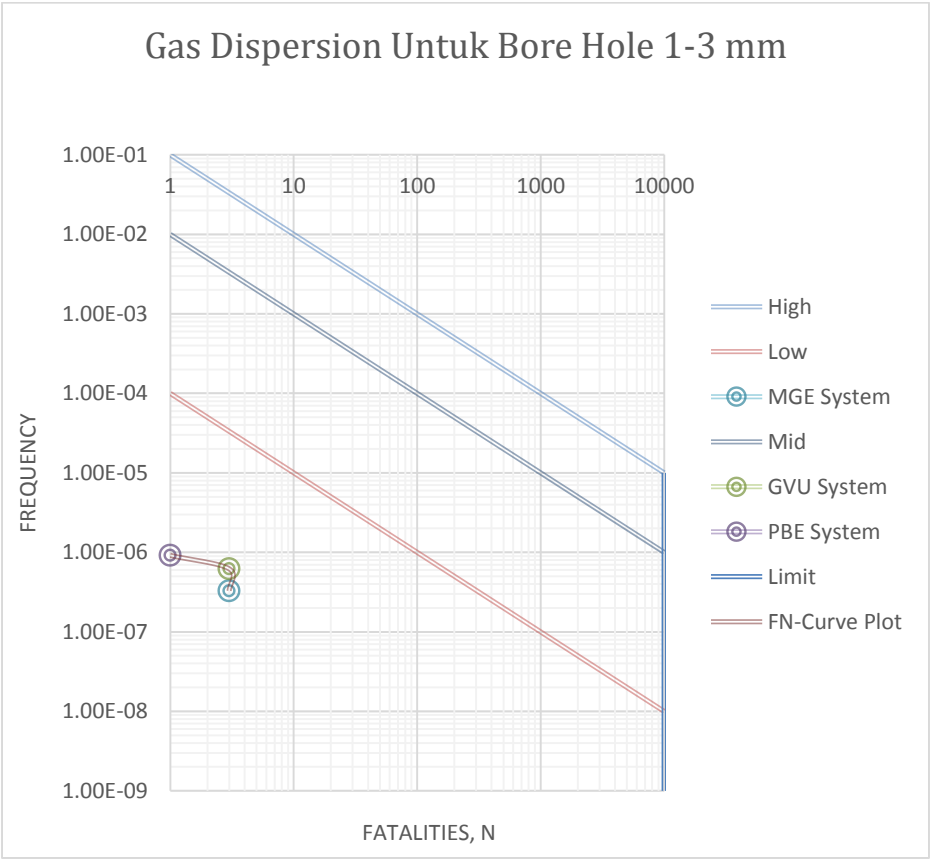


Scenario Gas Dispersion	Scenario Title: Gas Dispersion on PBE System Bore Hole 1-3 mm	Sytem Number : 1	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	LNG storage, pipe or equipment in PBE System leak because overpressure and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas Dispersion from PBE system		2.24E-03
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			2.24E-03
	Gas Detector	5.64E-02	
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		1.31E-04	
Frequency of Mitigated Consequence			2.94E-07
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install gas detector, pressure, and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

Scenario Gas Dispersion	Scenario Title: Gas Dispersion on MGE System Bore Hole 1-3 mm	Sytem Number : 2	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	Pipe or equipment in MGE System leakage and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas Dispersion from MGE system		2.49E-03
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			2.49E-03
	Gas Detector	5.64E-02	
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		1.31E-04	
Frequency of Mitigated Consequence			3.27E-07
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install gas detector, pressure, and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

Scenario Gas Dispersion	Scenario Title: Gas Dispersion on GUV System Bore Hole 1-3 mm	Sytem Number : 3	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	Pipe or equipment in GUV System leakage and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas Dispersion from GUV system		7.51E-03
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			7.51E-03
	Gas Detector	5.64E-02	
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		1.31E-04	
Frequency of Mitigated Consequence			9.87E-07
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install gas detector, pressure, and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			

Skenario Gas Dispersion Pada Bore Hole 1-3 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	MGE System	3	3.27E-07	3.27E-07
2	GVU System	3	2.94E-07	6.22E-07
3	PBE System	1	2.94E-07	9.16E-07

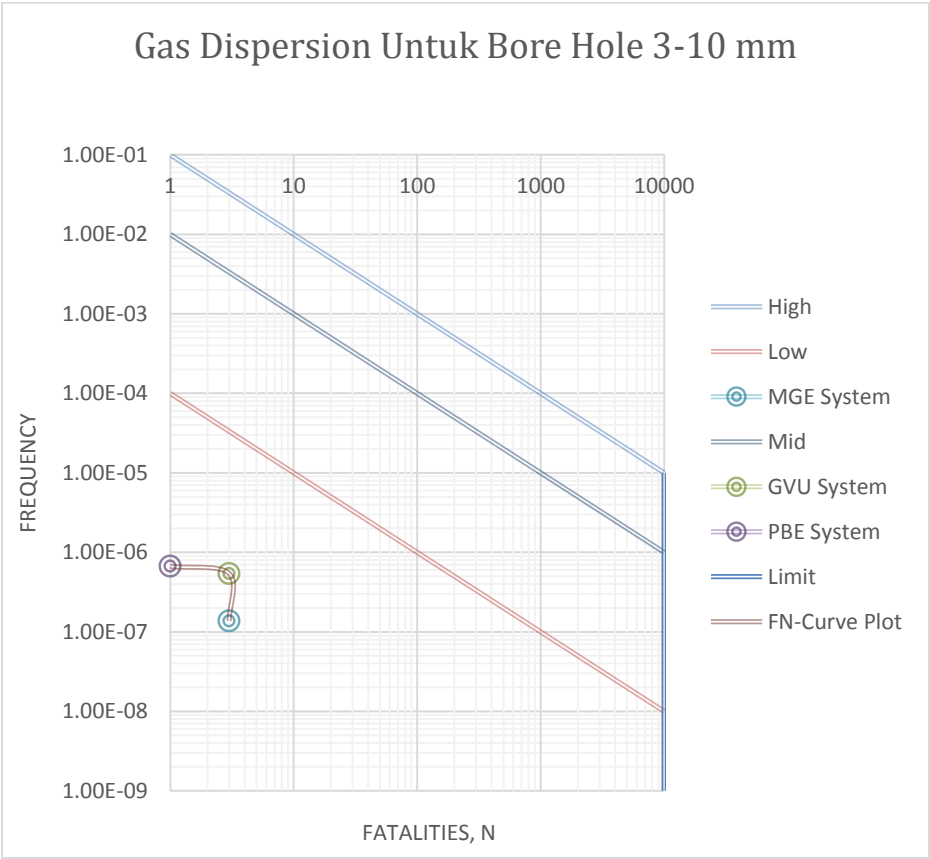


Scenario Gas Dispersion	Scenario Title: Gas Dispersion on PBE System Bore Hole 3-10 mm	Sytem Number : 1	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	LNG storage, pipe or equipment in PBE System leak because overpressure and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas Dispersion from PBE system		9.45E-04
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			9.45E-04
	Gas Detector	5.64E-02	
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		1.31E-04	
Frequency of Mitigated Consequence			1.24E-07
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install gas detector, pressure, and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

Scenario Gas Dispersion	Scenario Title: Gas Dispersion on MGE System Bore Hole 3-10 mm	Sytem Number : 2	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	Pipe or equipment in MGE System leakage and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas Dispersion from MGE system		1.04E-03
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			1.04E-03
	Gas Detector	5.64E-02	
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		1.31E-04	
Frequency of Mitigated Consequence			1.37E-07
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install gas detector, pressure, and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

Scenario Gas Dispersion	Scenario Title: Gas Dispersion on GUV System Bore Hole 3-10 mm	System Number : 3	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	Pipe or equipment in GUV System leakage and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas Dispersion from GUV system		3.09E-03
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			3.09E-03
	Gas Detector	5.64E-02	
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		1.31E-04	
Frequency of Mitigated Consequence			4.06E-07
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install gas detector, pressure, and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			

Skenario Gas Dispersion Pada Bore Hole 3-10 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	MGE System	3	1.37E-07	1.37E-07
2	GVU System	3	4.06E-07	5.43E-07
3	PBE System	1	1.24E-07	6.67E-07

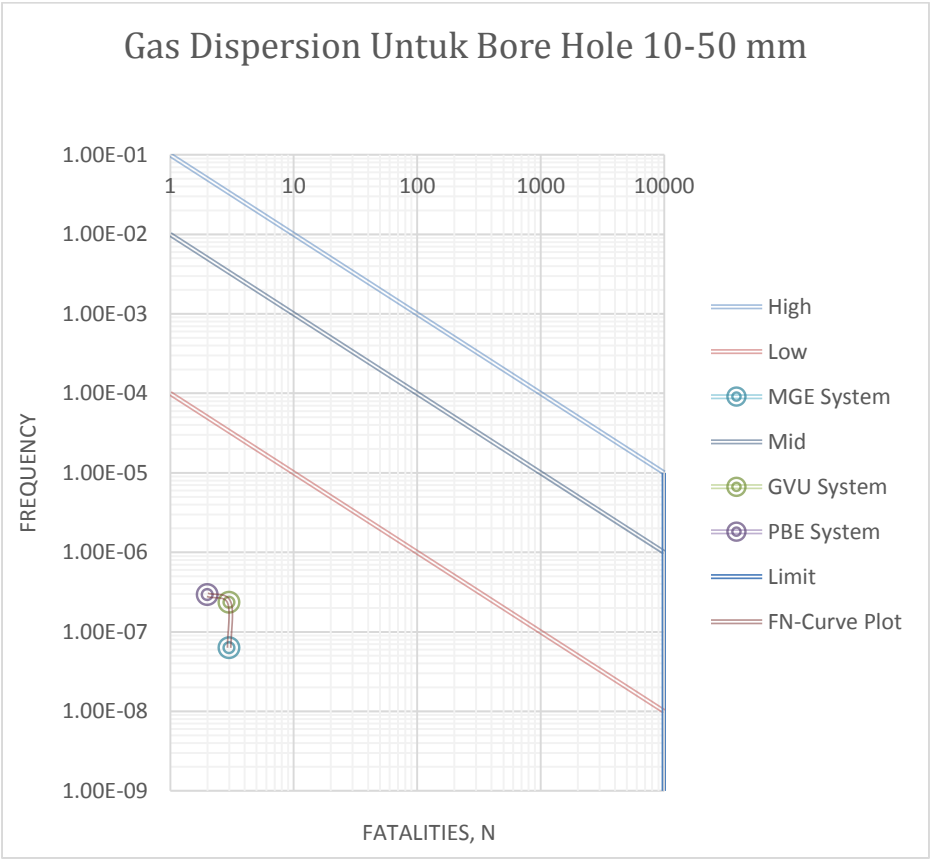


Scenario Gas Dispersion	Scenario Title: Gas Dispersion on PBE System Bore Hole 10-50 mm	Sytem Number : 1	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	LNG storage, pipe or equipment in PBE System leak because overpressure and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas Dispersion from PBE system		4.33E-04
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			4.33E-04
	Gas Detector	5.64E-02	
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		1.31E-04	
Frequency of Mitigated Consequence			5.69E-08
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install gas detector, pressure, and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

Scenario Gas Dispersion	Scenario Title: Gas Dispersion on MGE System Bore Hole 10-50 mm	Sytem Number : 2	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	Pipe or equipment in MGE System leakage and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas Dispersion from MGE system		4.79E-04
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			4.79E-04
	Gas Detector	5.64E-02	
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		1.31E-04	
Frequency of Mitigated Consequence			6.30E-08
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install gas detector, pressure, and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

Scenario Gas Dispersion	Scenario Title: Gas Dispersion on GUV System Bore Hole 10-50 mm	System Number : 3	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	Pipe or equipment in GUV System leakage and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas Dispersion from GUV system		1.31E-03
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			1.31E-03
	Gas Detector	5.64E-02	
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		1.31E-04	
Frequency of Mitigated Consequence			1.72E-07
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install gas detector, pressure, and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			

Skenario Gas Dispersion Pada Bore Hole 10-50 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	MGE System	3	6.30E-08	6.30E-08
2	GVU System	3	1.72E-07	2.35E-07
3	PBE System	2	5.69E-08	2.92E-07

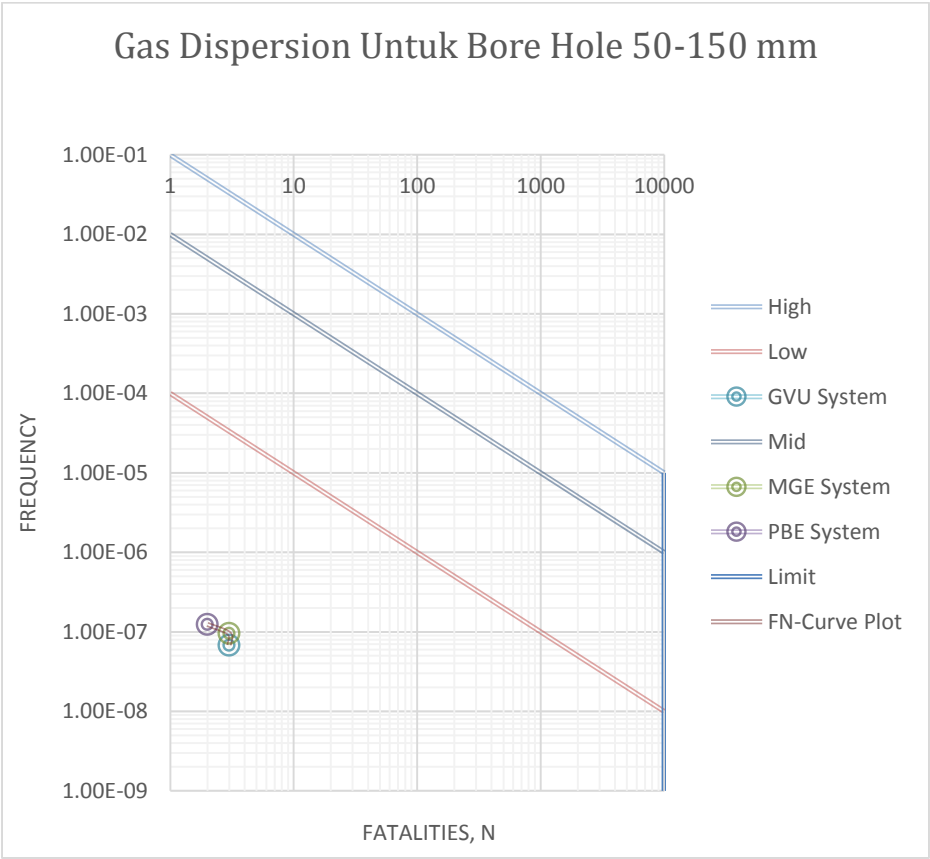


Scenario Gas Dispersion	Scenario Title: Gas Dispersion on PBE System Bore Hole 50-150 mm	Sytem Number : 1	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	LNG storage, pipe or equipment in PBE System leak because overpressure and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas Dispersion from PBE system		2.22E-04
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			2.22E-04
	Gas Detector	5.64E-02	
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		1.31E-04	
Frequency of Mitigated Consequence			2.91E-08
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install gas detector, pressure, and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

Scenario Gas Dispersion	Scenario Title: Gas Dispersion on MGE System Bore Hole 50-150 mm	Sytem Number : 2	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	Pipe or equipment in MGE System leakage and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas Dispersion from MGE system		2.07E-04
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			2.07E-04
	Gas Detector	5.64E-02	
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		1.31E-04	
Frequency of Mitigated Consequence			2.71E-08
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install gas detector, pressure, and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			
References			

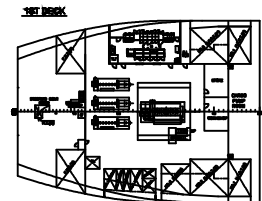
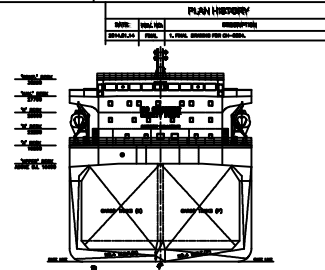
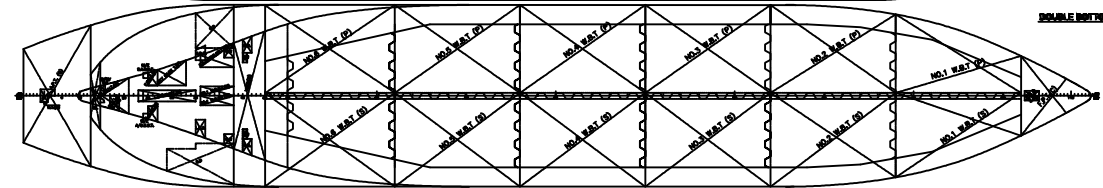
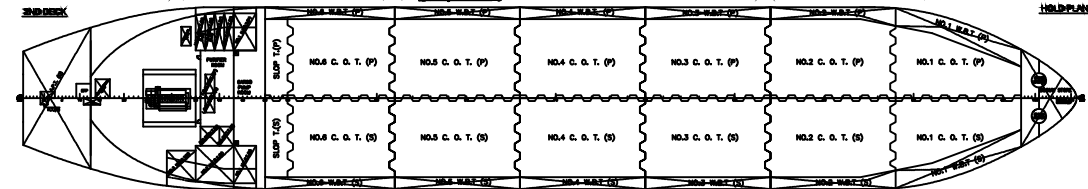
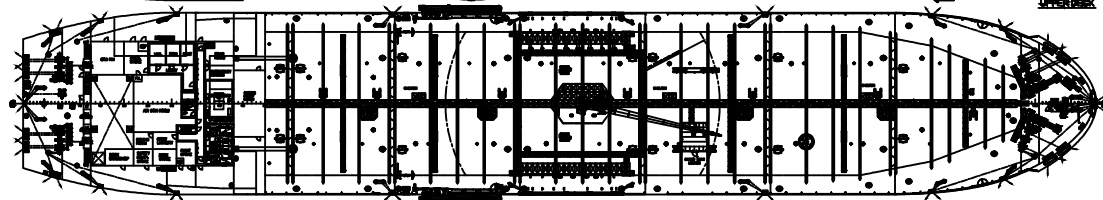
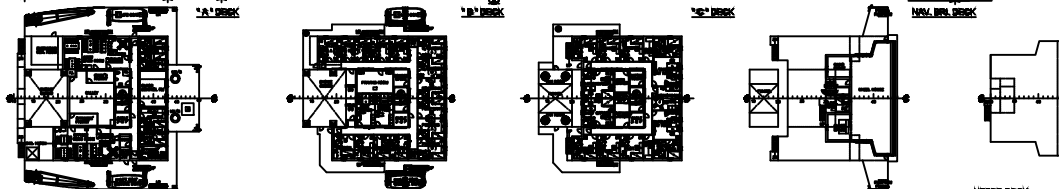
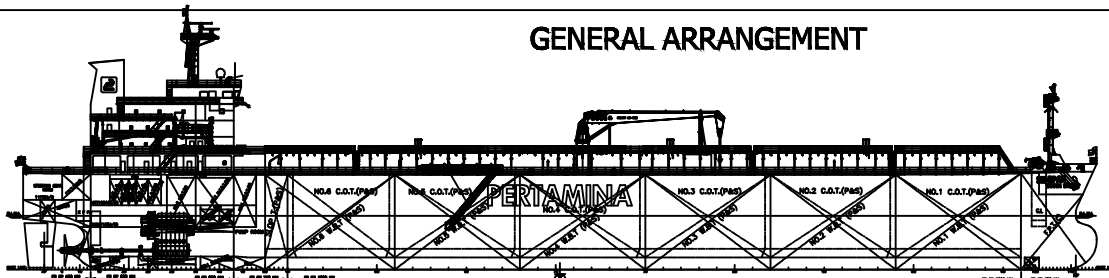
Scenario Gas Dispersion	Scenario Title: Gas Dispersion on GUV System Bore Hole 50-150 mm	System Number : 3	
Date	Description	Probability	Frequency (Per Year)
Consequence Description	Pipe or equipment in GUV System leakage and lead to fire or explosion		
Risk Tolerance Criteria (Frequency)	Action Required		1.00E-03
	Tolerable		1.00E-05
Initiating Event (Frequency)	Gas Dispersion from GUV system		5.17E-04
Enabling Event or Condition	N/A		
Conditional Modifiers	N/A		
Frequency of Unmitigated Consequence			5.17E-04
	Gas Detector	5.64E-02	
	Temperature alarm	5.52E-02	
	Pressure alarm	4.22E-02	
Total PFD for all IPLs		1.31E-04	
Frequency of Mitigated Consequence			6.79E-08
Risk Status		ACCEPTABLE	
Actions Required to Meet Risk Tolerance Criteria	Install gas detector, pressure, and temperature alarm as IPL to reduce risk		
Notes			

Skenario Gas Dispersion Pada Bore Hole 50-150 mm				
No.	System	Number of Fatalities	Frequency	Cumulative Frequency
1	GVU System	3	6.79E-08	6.79E-08
2	MGE System	3	2.71E-08	9.51E-08
3	PBE System	2	2.91E-08	1.24E-07



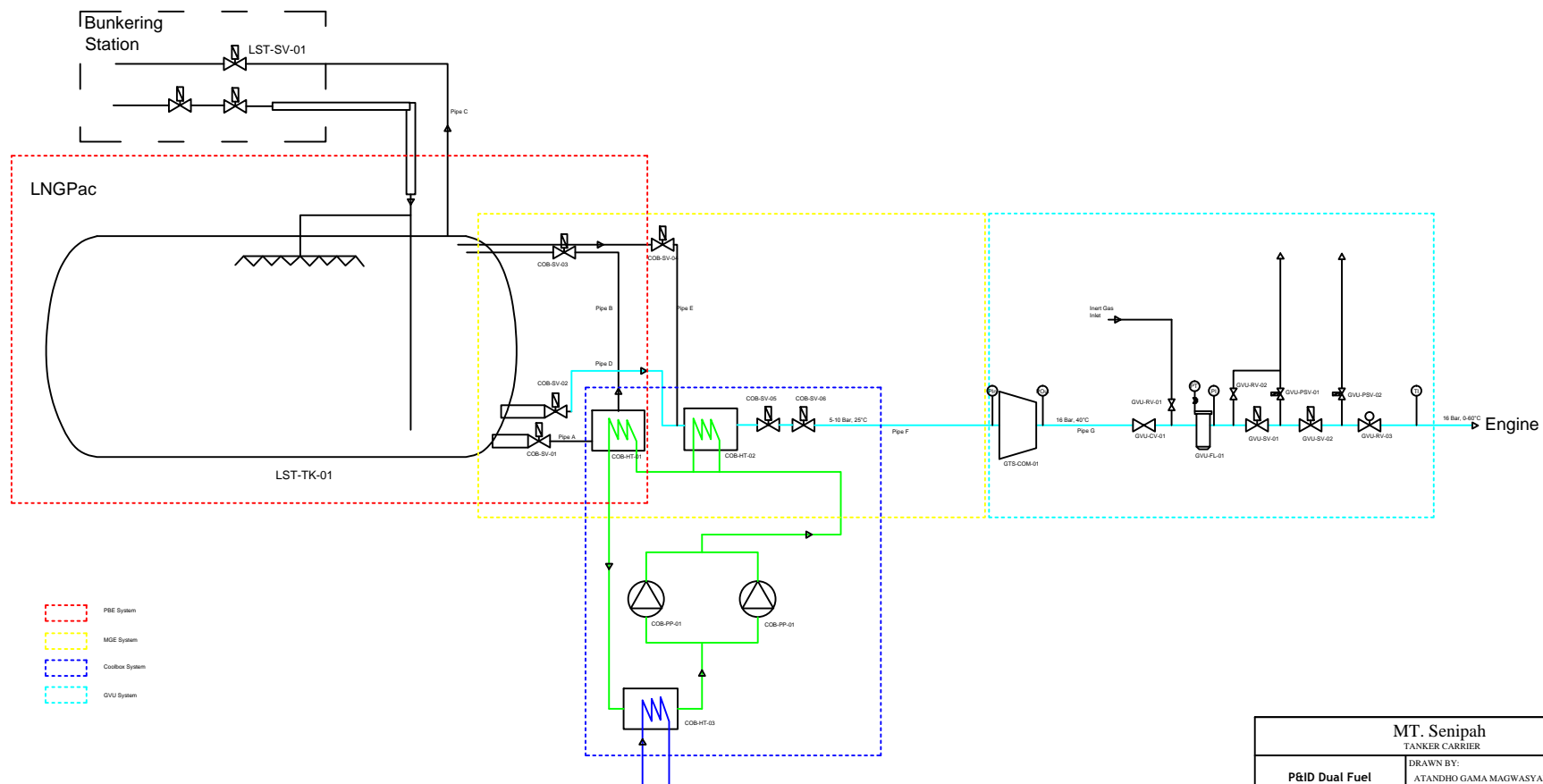
Lampiran gambar-gambar

GENERAL ARRANGEMENT

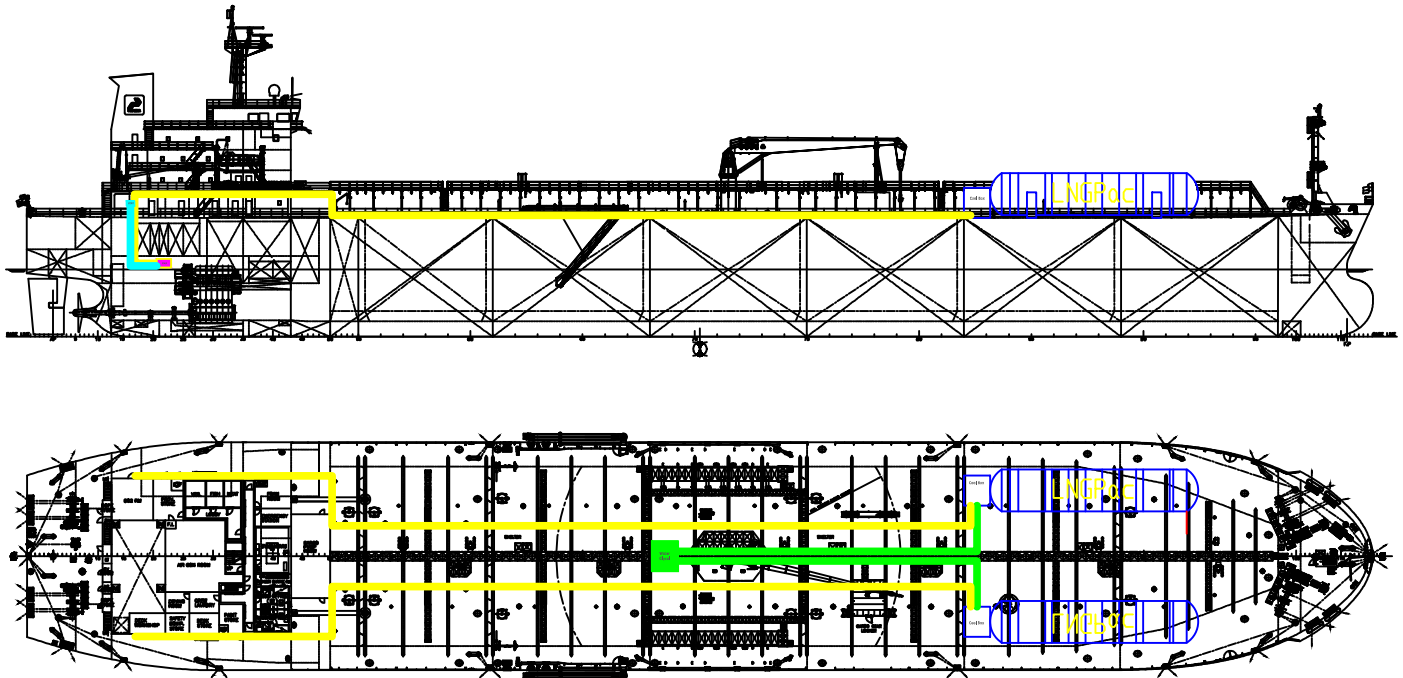


PRINCIPAL PARTICULARS

[illegible][illegible]



Dual Fuel System Layout MT. Senipah



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai penilaian risiko penggunaan *dual fuel system* pada kapal MT. Senipah dapat disimpulkan bahwa:

1. Bahaya dan mode kegagalan *dual fuel system* meliputi kegagalan komponen *dual fuel system* yang dapat menyebabkan kegagalan sistem dan bahaya kebakaran yang dapat menimbulkan korban jiwa. Identifikasi bahaya dilakukan menggunakan FMEA method dengan mengidentifikasi masing-masing kegagalan dan dampaknya pada sistem dan korban jiwa.
2. Analisis frekuensi menggunakan metode FTA dan ETA untuk menghitung frekuensi dari risiko bahaya *gas release* dari masing-masing komponen. Dalam perhitungan FTA dibantu menggunakan simulasi *software* RELEX 2009. Sedangkan ETA digunakan untuk menentukan dampak akhir dari *gas release* meliputi risiko BLEVE, *explosion*, *flash fire*, *jet fire*, dan *gas dispersion*.
3. Konsekuensi dari risiko BLEVE, *explosion*, *flash fire*, *jet fire*, dan *gas dispersion* dimodelkan menggunakan ALOHA *software* yang kemudian ditampilkan dalam *layout* kapal sehingga nilai konsekuensi dapat ditentukan.
4. Dari hasil penilaian risiko dengan merepresentasikan nilai frekuensi dan konsekuensi dalam grafik *risk criteria FN curve* risiko BLEVE, *explosion*, dan *gas dispersion* berada pada level ALARP, sedangkan untuk risiko *flash fire* dan *jet fire* risiko dapat diterima. Langkah mitigasi dilakukan untuk risiko BLEVE, *explosion*, dan *gas dispersion* agar risiko masuk kedalam area dapat diterima. Metode mitigasi yang dilakukan

menggunakan LOPA. Hasil mitigasi menunjukkan semua risiko masuk ke area yang dapat diterima. Sehingga *dual fuel system* aman digunakan pada kapal tanker MT. Senipah milik PT. Pertamina (Persero) Perkapalan.

5.2.Saran

Setelah dilakukan penilaian risiko penggunaan *dual fuel system* pada kapal tanker maka penulis dapat memberikan saran sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini teknis sistem dari *dual fuel system* untuk kapal tanker MT. Senipah belum di analisis secara detail. Penilaian risiko dilakukan hanya dengan menganalisis P&ID yang dimodifikasi dari kapal Bit Viking. Detail perhitungan teknis untuk *dual fuel system* untuk kapal MT. Senipah dapat dapat dianalisis lebih lanjut.
2. Perhitungan keekonomian dari *dual fuel system* dapat dianalisis untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernechea, E.J., Antonio, J. & Arnaldos, J., 2012. A model for estimating the impact of the domino effect on accident frequencies in quantitative risk assessments of storage facilities. *Process Safety and Environmental Protection*, 91(6), pp.423–437.
- Det Norske Veritas, (2013), “Risk Level and Acceptance Criteria for Passenger Ships”. *First interim report, part 2: Risk Acceptance Criteria*.
- Hagblom J. (2013). LNG Conversion (General) [PowerPoint slides]. Retrieved from http://www.ndptl.org/c/document_library/get_file?folderId=19620&name=DLFE-1541.pdf
- IGF Code, (2013), Draft International Code Of Safety For Using Gases Or Other Low-Flashpoint Fuels.
- Indian Standart, (2006), “Analysis Techniques For System Reliability”. *Part 2 Procedure For Failure Mode And Effects Analysis (FMEA)*.
- Jianhua Li, Zhenghua H. (2012). “Fire and Explosion risk analysis and evaluation for LNG ships”. *Journal Procedia Engineering*. 45 (2012), 70-76.
- Noh Y., Chang K., Seo Y., Chang D. (2014). “Risk-based determination of design pressure of LNG fuel storage tanks based on dynamic process simulation combined with Monte Carlo Method”. *Journal Reliability Engineering and System Safety*. 129 (2014), 76-82.
- OGP, (2010), Risk Assessment Data Directory.
- OREDA, (2002), Data Handbook.
- Potapov V. (2012). DF Integrated Propulsion Systems and LNG pack-Technical Developments, Benefits and Operational Experience [PowerPoint slides]. Retrieved from <http://www.korabel.ru/filemanager/OTHER/0/0/7.pdf>
- Shariff, A.M. & Leong, C.T., 2009. Inherent risk assessment-A new concept to evaluate risk in preliminary design stage.

- Process Safety and Environmental Protection*, 87(6), pp.371–376.
- Soegiono, Ketut Buda. 2006. “*Transportasi LNG Indonesia*”. Surabaya. Airlangga University Pers.
- Stefana E., Marciano F., Alberti M. (2015). “Qualitative risk assessment of a Dual Fuel (LNG-Diesel) system for heavy-duty trucks”. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 39 (2016), 39-58.
- Wettstein R. (2013). The Wartsila Low-Speed, Low-Pressure Dual-Fuel Engine [PowerPoint slides]. Retrieved from http://www.lng-nordwest.de/files/lng_downloads/SEM_130918/3_Wettstein_Waertsilae_Low-Speed_Low-Pressure_Dual-Fuel_Engine.pdf
- Woong Yun G. “*Bayesian-Lopa Methodology For Risk Assessment Of An LNG Importation Terminal*”. Thesis. Texas: Texas A&M University.
- Yosi Andraputra Fahreza. “*Risk Assessment of Fire/ Explosion Aboard Tankers During Service*”. Tugas Akhir. Surabaya: Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Zoglia P. (2013). Gas Storage And Supply System [PowerPoint slides]. Retrieved from http://www.lng-nordwest.de/files/lng_downloads/SEM_130918/4_Zoglia_Gas-Storage-and-supply-systems.pdf

BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Magetan pada tanggal 29 Desember 1993 dan merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Sampai saat ini penulis telah menyelesaikan pendidikan formal di SDN Magetan 1 Magetan, SMPN 1 Magetan, SMAN 3 Madiun, dan saat ini sedang menempuh pendidikan perguruan tinggi program sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan. Pada saat penulis menjalani pendidikan tinggi di ITS, penulis mengikuti organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (HIMASISKAL) sebagai staff Departemen Ristek dan Unit Kegiatan Mahasiswa Bela Diri Merpati ITS sebagai anggota dan asisten pelatih. Untuk mengerjakan dan menyelesaikan skripsi penulis mengambil bidang RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, and Safety). Penulis menyelesaikan studi strata satu (S1) dalam delapan semester.

Atandho Gama Magwasyar
tandho93@gmail.com